Psychol. Forsch. 33, 100—135 (1970)

Allgemeinpsychologische Untersuchungen zum Vigilanzverhalten*

GISELA MÜLLER

Psychologisches Institut der Freien Universität Berlin
(Direktoren: Prof. Dr. A. O. Jaeger, Prof. Dr. H. Hörmann
und Prof. Dr. K. Holzkamp)

Eingegangen am 6. Mai 1969

* Teil I der Dissertation, die im Januar 1969 der Philosophischen Fakultät der Freien Universität Berlin vorgelegt wurde.

Experimental Application of Detection Theory to Vigilance Behaviour

Summary. In a $2 \times 2 \times 2$-design the effects of "number of dials," "number of irrelevant stimuli" and "kind of motivation" were combined. It was found out, that probabilities of missed signals and false alarms increased with spatial uncertainty. The number of irrelevant stimuli, which were of equal sensory modality as the relevant stimuli, had no influence either on detection probability or on false alarms rate.

Further attempt was made to systematize effects of motivation on vigilance performance in the detection model. With great values for hits and small costs for false alarms ("risky motivation") there was an essentially higher detection pobability and a slightly higher false alarms rate than with small values for hits and high costs for false detections ("cautious motivation"). The probabilities of detections decreased under risky motivation and increased under cautious motivation as the watch prolonged, whereas the corresponding probabilities of false alarms showed no significant changes.

Zusammenfassung. Mit Hilfe eines $2 \times 2 \times 2$-Designs wurde die Wirkung der „Anzahl der Signalflächen", „Anzahl der irrelevanten Reize" und „Art der Motivation" auf die Vigilanzleistung untersucht. Dabei zeigte sich, daß die Wahrscheinlichkeiten von verpaßten Signalen und falschen Alarmen mit der Anzahl der Signalquellen zunehmen. Die Menge der Nicht-Signale gleicher Modalität wie die Signalreize beeinflußt weder die Signalentdeckungen noch die falschen Alarme.

Weiterhin wurde versucht, eine Systematisierung von Motivationswirkungen in Vigilanzaufgaben im Rahmen des detection-Modells vorzunehmen. Bei großen Gewinnen für richtige Signalentdeckungen und geringen Verlusten für falsche Alarme („Risiko-Motivation") ergab sich eine wesentlich höhere Entdeckungswahrscheinlichkeit und eine geringfügig höhere Rate von falschen Alarmen als bei geringen Gewinnen für richtige Signalentdeckungen und hohen Kosten für falsche Alarme („Vorsichts-Motivation"). Weiterhin zeigte sich unter Risiko-Motivation ein Abfall der Entdeckungswahrscheinlichkeit und bei Vorsichts-Motivation ein Anstieg, während sich die entsprechenden Raten der falschen Alarme im Verlauf der Aufgabe nicht signifikant veränderten.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A. Einführung in die Problemstellung

I

Einer der Ausgangspunkte für unsere Untersuchung wird durch die Arbeiten von Broadbent (1950, 1951, 1954) und Jerison u. Mitarb. (Jerison, 1957, 1959; Jerison und Wallis, 1957; Jerison und Wing, 1957) über das Vigilanzverhalten unter komplexen Beobachtungsbedingungen, d.h. in mehrflächigen Anordnungen gebildet. Die folgende Analyse der Vigilanzleistung erfaßt die Rolle der Anzahl der Signalquellen unabhängig von der Wirkung der irrelevanten Stimulation. Die darin enthaltenen Annahmen über die Beschaffenheit des informationsverarbeitenden „Mechanismus" können allgemein in das Gebiet eingeordnet werden, das Verbindungslinien zwischen Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsverhalten zu finden sucht.

In diesem Bereich der psychologischen Forschung wurde ein großer Teil jener theoretischen Konstruktionen entwickelt, die zur Erklärung von Vigilanzphänomenen herangezogen worden sind, wie beispielsweise das Aktivationskonzept (Deese, 1955; Frankman und Adams, 1962), der Begriff der Erwartung (Baker, 1959, 1963) und der des Filters (Broadbent, 1958). Die beiden zuerst genannten Ansätze wurden vorzugsweise zur Interpretation des Vigilanzverhaltens in relativ einfachen Anordnungen von der Art des Cambridge Clock Test (Mackworth, 1950) verwendet. Die am häufigsten vertretene Erklärung des Vigilanzabfalls in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer — die arousal-Theorie — erfaßt die Abnahme der Entdeckungsleistung als Ausdruck eines durch die Monotonie der Beobachtungssituation verminderten corticalen Erregungsniveaus. Diese Betrachtungsweise geht auf die von Moruzzi und Magoun (1949) entdeckte Aktivierungswirkung der Formatio reticularis zurück, die die Funktionsfähigkeit des Cortex' auf Grund eines unspezifischen afferenten Erregungsniveaus gewährleistet.

Eine arousal-Interpretation des Vigilanzverhaltens wird durch Untersuchungen bestätigt, in denen die Eintönigkeit der Beobachtungsbedingungen durch Einführung von Aufgaben-irrelevanter Stimulation vermindert wurde: McGrath (1963) fand, daß die Entdeckungsleistung in einer visuellen Vigilanzaufgabe weniger steil abfiel, wenn die Vpn während der Aufgabe ein Tonbandprogramm aus Musikstücken, Verkehrslärm, sprachlichen Informationen, etc., hörten.

Die Menge der irrelevanten Stimulation bildet für die arousal-Theorie — wenn auch bisher nicht explizit ausgearbeitet — den Ansatzpunkt für die Interpretation des Vigilanzverhaltens in mehrflächigen Anordnungen. Diese sind einmal dadurch gekennzeichnet, daß unter komplexen Beobachtungsbedingungen eine größere Informationsmenge zu verarbeiten ist als bei Vorhandensein einer einzigen Signalquelle. Die Vp hat im

3-Uhren-Versuch wesentlich mehr Nicht-Signalreize von echten Signalen zu unterscheiden als bei Beobachtung von nur einer Uhr, deren Signale mit gleicher Frequenz wie in der mehrflächigen Anordnung auftauchen.

Ein zweites Merkmal komplexer Vigilanzbedingungen, das den Ansatzpunkt für Jerisons (1957, 1959, 1963) und z.T. auch für Broadbents (1958) Vigilanzkonzeption bildet, ist, daß die als Signal definierte Umweltänderung an verschiedenen Orten auftauchen kann. Zusätzlich zu der zeitlichen Signalunsicherheit, die in Vigilanzaufgaben in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße immer vorhanden ist, enthalten mehrflächige Anordnungen räumliche Signalunsicherheit. So ist der Vp bei der Überwachung von drei Uhren nicht bekannt, auf welcher von ihnen das nächste Signal auftauchen wird.

Aus Untersuchungen von Broadbent (1950, 1951) und Jerison und Wallis (1957) geht hervor, daß die Vigilanzleistung in komplexen Anordnungen im Verlauf der Aufgabe nicht abnimmt. Bei Darbietung von Lärm jedoch fanden die Autoren ein Absinken der Entdeckungsleistung. Im Cambridge Clock Test tritt dagegen kein Vigilanzabfall unter Lärm ein (Jerison, 1957).

Dem Versuch, die Ergebnisse von Broadbent und Jerison mit der umgekehrt U-förmigen Beziehung zwischen Aktivierung und Leistung in Zusammenhang zu bringen, widersetzt sich die zeitliche Verteilung der Signale, die unter Lärmeinwirkung in mehrflächigen Vigilanzaufgaben verpaßt werden. Wenn die starke Beeinträchtigung einer komplexen Vigilanzleistung durch Lärm als Hyper-Aktivierungseffekt betrachtet werden könnte, müßten die Störwirkungen des Lärms zu Beginn der Aufgabe größer sein als am Ende, wenn die Vp sich möglicherweise an den Lärm gewöhnt hat. Die größten Beeinträchtigungen durch Lärm zeigen sich übereinstimmend bei Broadbent und Jerison gegen Ende der Aufgabe.

Die von Broadbent (1958) und Jerison (1957) gegebenen Erklärungen des Vigilanzverhaltens, die auch die zeitliche Verteilung der unter Lärm verpaßten Signale berücksichtigen, können allgemein als Alternativen zur arousal-Theorie bei einer Interpretation des Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsverhaltens verstanden werden. In ihrem Bemühen, Verbindungslinien zwischen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit aufzuweisen, stellt die arousal-Theorie die energetischen Aspekte des Verhaltens in den Mittelpunkt. Dagegen ist der Ansatzpunkt für Broadbents Filtertheorie sowie Jerisons Überlegungen zur „flexibility of attention" in den inhaltlichen Komponenten des Verhaltens, d.h. in seiner Gerichtetheit zu sehen.

Jerisons Interpretation des Vigilanzverhaltens (1957) postuliert für komplexe Anordnungen zusätzlich zur „alertness" oder der Wachheit,

die in allen Vigilanzaufgaben beansprucht wird, einen Faktor der „flexibility of attention", der durch einfache „focussing"-Aufgaben nicht zu affizieren ist. Die Darbietung von Lärm beeinträchtigt nicht die Wachheit, sondern nur die Flexibilität der Aufmerksamkeit. Auf die Arbeitsweise dieses hypothetischen Flexibilitätsmechanismus' geht Jerison jedoch nicht ein.

In der kommunikationstheoretischen Behandlung des Vigilanzverhaltens durch Broadbent (1958) ist die Informationsverarbeitung des Wahrnehmungssystems durch eine Reihe von Annahmen näher gekennzeichnet. Broadbents Modell erfaßt das Nervensystem als einen Kommunikationskanal, der infolge seiner begrenzten Kapazität nicht alle von den Sinnesorganen aufgenommenen Informationen gleichzeitig verarbeiten kann. Der Selektionsprozeß, dem die Informationen über die Umweltereignisse unterworfen sind, wird mit der Tätigkeit eines „Filters" verglichen, der die Zentrale mit jeweils einem „sensorischen Kanal" verbindet. Dabei werden die Auswahlbedingungen sowohl durch physikalische Eigenschaften der Stimulus-Ereignisse selbst wie beispielsweise Intensität, als auch durch Organismusvariable wie Antrieb bestimmt.

Nach Broadbent (1958) ist die Beeinträchtigung der Beobachtungsleistung durch Lärm oder zeitliche Ausdehnung einer Überwachungsaufgabe in dem Auftreten von Filterumschaltungen begründet. Als Filterumschaltung wird die kurzfristige Aufnahme von Aufgabenirrelevanter Information, z.B. von Lärm verstanden. Dieses „filterswitching", das Broadbent mit einem Lidschlag vergleicht, kann zwar eine Zeitlang willkürlich verhindert werden, aber auf die Dauer nicht vollständig unterdrückt werden. Dadurch, daß irrelevante Information während einer Filterumschaltung die zentrale Kanalkapazität beansprucht, ist die Aufgaben-Information kurzfristig vor dem verarbeitenden Zentrum blockiert. Das bedeutet, daß ein während eines Filterumschlags auftauchendes Signal nicht entdeckt werden kann.

Das filter-switching oder die Wanderung der Aufmerksamkeit tritt Broadbent zufolge nicht nur zwischen verschiedenen Sinnesgebieten, sondern auch innerhalb jeder einzelnen Sinnesmodalität auf: der Abfall der Entdeckungsleistung in einfachen Vigilanzaufgaben ist nach Broadbent durch die Zunahme der Filterumschaltungen als Ausdruck des verminderten Neuheitswertes der Signalinformation zu verstehen.

Voraussetzung für die Lösung des Problems, wie die Veränderungsrate der Entdeckungsleistung in Abhängigkeit von der Anzahl der Signalquellen erklärt werden kann, scheint die Interpretation der Beobachtungsleistung bei ein- und mehrflächiger Darbietungsweise überhaupt zu sein. So stellt sich für Broadbents (1958) Theorie im Hinblick auf die Deutung der geringen Entdeckungsleistung bei Vorhandensein von mehreren

Signalquellen die Frage, wodurch die im Vergleich zum einflächigen Vigilanzversuch vergrößerte Anzahl von intra-modalen Filterumschaltungen zustandekommt. Aus Broadbents Filtertheorie (1958) geht nicht hervor, ob sich seine Deutung des Flächeneffekts auf die Menge der irrelevanten Stimulation oder den Grad der räumlichen Signalunsicherheit stützt. Wo konkrete Annahmen über die spezifischen Prozesse des hypothetischen Wahrnehmungsmechanismus' eine Vorhersage der Vigilanzleistung ermöglichen würden, bleibt Broadbents Konzeption formal, wie an Hand der Entdeckungsleistung in unserer ein- und mehrflächigen Vigilanzanordnung zu zeigen sein wird (s. S. 114ff.).

Bei dem Versuch, die geringe Beobachtungsleistung im mehrflächigen Vigilanzversuch durch die räumliche Signalunsicherheit zu begründen, nehmen wir eine inhaltliche Ergänzung des Broadbentschen Ansatzes durch Überlegungen von Piaget (1966) über die Wanderung der Aufmerksamkeit und ihre Bedeutung für die Organisation des Wahrnehmungsraums vor. Die Beschränkung dabei auf den visuellen Bereich ist von unserem Interesse an der Erklärung von Vigilanzleistungen in ein- und mehrflächigen Versuchsanordnungen zu verstehen. Es erscheint angesichts der Konsequenzen, die Piagets Konstruktum der Zentrierung für die Entwicklung des Denkens (1966, 83) besitzt, evident, daß der von Piaget angenommene Gliederungsmechanismus von grundlegender Bedeutung für die Interpretation kognitiven Verhaltens allgemein ist.

Die Untersuchung von Relevantem und Irrelevantem, von „Figur" und „Grund", betrifft das von Piaget ausführlich behandelte Problem der Gliederung des Wahrnehmungsraums. Nach Piaget ist „...der Wahrnehmungsraum...nicht homogen, er ist in jedem Augenblick zentriert..." (1966, 82). Die Zentrierung der Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt beinhaltet bei Piaget eine Differenzierung des Wahrnehmungsraums in Zentrum und Peripherie. Diese Gliederung des Wahrnehmungsraums läßt die Objekte in seinem Zentrum klar und deutlich hervortreten, während jene der Peripherie in einer Zone der Unschärfe und Unbestimmtheit bleiben.

Zentrierung eines Objektes kann als subjektive Vergrößerung der Operationalisierung zugänglich gemacht werden. „...Das Element, dem eine größere Beachtung geschenkt wird,...wird systematisch überschätzt, und zwar sowohl bei Vergleichen, die in der frontal-parallelen Ebene, wie bei solchen, die in der Tiefe vorgenommen werden..." (1966, 81f.).

Die Zentrierungseffekte als Akzentuierung des in Frage stehenden Elementes können unter geeigneten experimentellen Bedingungen, wie sie beispielsweise in den sog. geometrisch-optischen Täuschungen gegeben sind, als Vergrößerung des Wahrnehmungsobjektes gemessen werden. So haben Versuche von Piaget u. Mitarb. (1958) an einer einfachen optischen Täuschung (Oppel-Kundt) ergeben, daß sich der Täuschungsbetrag bei

ansteigender Darbietungszeit im Tachistoskop, d.h. mit der Anzahl von Zentrierungen vergrößert.

Ist Veränderung des Wahrnehmungsraums im Sinne einer Vergrößerung als ein Zentrierungseffekt darzustellen, so besteht für Piaget (1966) die Leistung der „Dezentrierung", der Wanderung des Blicks oder der Aufmerksamkeit in der Aufhebung dieser Verfälschungen. Das Zusammenspiel von Zentrierung und Dezentrierung ist eine konstruktive Tätigkeit des Subjekts, die dem Wahrnehmungsraum Konstanzen und Kontraste verleiht.

In dieser Konzeption wird das Konstructum des Filters gleichsam als ein Aufmerksamkeitsstrahl vorgestellt, der die Objekte des Wahrnehmungsraums abtastet und diesen bei jeder Zentrierung in konzentrisch angeordnete Tiefenschärfe-Regionen verwandelt. Der Wechsel der Zentrierungsrichtungen kann von der Seite der Stimuli her durch die Anzahl der pro Zeiteinheit erhobenen Daten bzw. durch die Redundanz dieser Informationen erfaßt werden.

Die Heraushebung eines Elements im Prozeß der Zentrierung wird durch die Anordnung der Stimuli beeinflußt, wie von Piaget u. Mitarb. (1958) sowie von Gardner und Long (1960a, b) an optischen Täuschungen nachgewiesen wurde. Damit wird die räumliche Gliederung und Ausdehnung der Signalquelle in einer Vigilanzaufgabe zu einer für die Entdeckungsleistung wichtigen Variablen. Ein Teil der Anordnung, in dem die Signale auftauchen können, wird durch die Zentrierung der Aufmerksamkeit als ein eng umrissener Bereich präzise von dem irrelevanten Teil abgegrenzt.

Nehmen wir als Beispiel den bereits mehrfach erwähnten Cambridge Clock-Test von Mackworth (1950); in dieser Vigilanzaufgabe rückt ein schmaler, schwarzer Zeiger vor einem weißen, uhrenähnlichen Ziffernblatt jede Sekunde um ein kleines Stückchen weiter, wobei Zeigersprünge von doppelter Größe als Signale definiert sind. Die im Cambridge Clock-Test vorhandene Stimulus-Anordnung trägt der Gliederung des Wahrnehmungsraums durch die räumliche Trennung von möglichem Signalbereich (Zeiger) und irrelevanter Peripherie (Ziffernblatt) Rechnung. Voraussetzung für eine Signalentdeckung ist ein kontinuierliches Zentrieren des Zeigers. Diese Zentrierung jedoch ist in ihrer zeitlichen Erstreckung begrenzt. Der Abbruch der Zentrierung oder die Wanderung der Aufmerksamkeit, die in einer Dezentrierung auf das Ziffernblatt besteht, wird darüberhinaus durch das seltene Auftauchen der Signale nahegelegt. Die Dezentrierungen erklären das Verpassen von Signalen: ein während einer Dezentrierung auftauchendes Signal kann nicht entdeckt werden. Bei unvollständigen, d.h. zu kurzen Zentrierungen des Zeigers vor oder nach einer Wanderung der Aufmerksamkeit auf den irrelevanten Bereich der Anzeigeeinheit, können „falsche Alarme"

auftreten. Unter falschen Alarmen sind Registrierungen eines Signals zu verstehen, wenn objektiv gar keins vorhanden ist.

Da das Zentrum der Aufmerksamkeit eine geringe Ausdehnung aufweist, ist es nicht möglich, in der komplexen Vigilanzaufgabe die drei Zeiger gleichzeitig zu zentrieren. Die Vp hat in schnellem Wechsel die Zeiger nacheinander in das Zentrum der Aufmerksamkeit zu rücken. Mit der Anzahl der geforderten Zentrierungen jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit von Dezentrierungen, in denen Signale verpaßt werden können, was die im Vergleich zum einflächigen Vigilanzversuch schlechtere durchschnittliche Entdeckungsleistung erklären würde.

Auf Grund der Koordinierung von Zentrierung und Dezentrierung nehmen wir an, daß die intra-modale Wanderung der Aufmerksamkeit von den Zentrierungsrichtungen abhängig ist, die der Vp durch den Grad der Signalunsicherheit der Aufgabe abverlangt werden. Die Menge der Nicht-Signalreize gleicher Modalität stellt neben der Anzahl der Signalquellen ein Merkmal komplexer Vigilanzaufgaben dar, das dieser Auffassung zufolge relativ geringe Bedeutung für die Entdeckungsleistung besitzt. Das Aktivierungskonzept gründet seine Vorhersagen jedoch gerade auf die Menge der irrelevanten Stimulation und spricht ihr einen günstigen Einfluß auf die Entdeckungsleistung in komplexen Vigilanzaufgaben zu. Die dargestellte Problematik werden wir im Fortgang der Arbeit eingehend zu untersuchen haben.

II

Der zweite Problemkreis unserer Arbeit betrifft die psychologische Bedeutung von falschen Alarmen. Das Auftreten dieser Art von Fehlern wurde bisher in der Vigilanzforschung — von wenigen Ausnahmen abgesehen — nicht systematisch behandelt. Den Grund für dieses Unterlassen sehen Broadbent und Gregory (1963) darin, daß falsche Alarme häufig implizit als mißglückte Versuche angesehen werden, die Entdeckungsleistung durch Raten zu verbessern.

Auf Grund der niedrigen Signalfrequenz in Vigilanzaufgaben ist die Wahrscheinlichkeit des richtigen Ratens stark reduziert. Der Versuch der Vp, durch Raten ihre Leistung zu verbessern, wirkt sich demnach mit wesentlich geringerer Wahrscheinlichkeit auf die Entdeckungsleistung aus als auf den Anteil von falschen Alarmen.

Diese Betrachtung der falschen Alarme rechtfertigt zwar ihre Vernachlässigung in Vigilanzversuchen. Die Zweckmäßigkeit einer solchen Perspektive jedoch wird durch ein von Tanner und Swets (1954) entwickeltes Modell in Frage gestellt. Das detection-Modell meint, eine unbedeutende Erhöhung oder Verminderung der falschen Alarme rufe auf der Seite der richtigen Signalentdeckungen eine gleichsinnige, sehr große Veränderung hervor. Wenn diese Vorhersage zutrifft, dürfen falsche

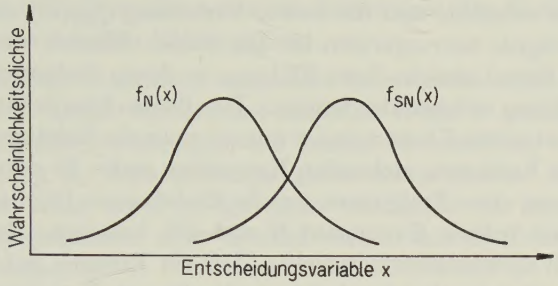

Abb. 1. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von Lärm ($f_N(x)$) und Lärm plus Signal ($f_{SN}(x)$)

Alarme in Vigilanzaufgaben bei der Auswertung nicht einfach wie bisher unberücksichtigt bleiben.

Für die Arbeitsweise des zentralen Mechanismus' des Wahrnehmungsgeschehens werden im detection-Modell zwei Annahmen gemacht: die eine betrifft die sensorische Kontinuität, die andere einen durch Motivationsvariable verstellbaren Response-Faktor.

Die detection-Theorie meint, die im Schwellenbegriff enthaltene Diskontinuitätsannahme sei ein Spiegel der sprachlichen Dichotomie „ja"-„nein" und nicht die Reflexion der Beschaffenheit des sensorischen Ereignisses, das der expliziten Entscheidung zugrundeliegt. Das sensorische System funktioniere nicht in Analogie zur Alles-oder-Nichts-Regel der isolierten Nervenzelle, sondern sei durch kontinuierliche Oszillation gekennzeichnet. Diese Oszillation wird als neurales Rauschen, als Repräsentation von „Lärm" interner und externer Art vorgestellt. Die detection-Theorie nimmt an, daß der interne Lärmpegel bei Einwirkung eines äußeren Reizes, eines „Signals", um einen bestimmten Betrag vergrößert wird.

In Schwellenuntersuchungen ist die Vp mit der Aufgabe konfrontiert, zu entscheiden, ob das jeweilige sensorische Ereignis (x) allein durch die Zufallsschwankungen des Lärms (N) oder durch das Zusammenwirken von „Lärm plus Signal" (SN) realisiert ist. Jedes sensorische Ereignis x wird mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit allein durch Lärm oder durch Lärm plus Signal zustandekommen können, was in Abb. 1 dargestellt ist.

Dabei ist auf der x-Achse von Abb. 1 die kontinuierliche Variable des sensorischen Ereignisses x aufgetragen und auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte dieser Variablen. Es werden Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen anstelle von Wahrscheinlichkeitsfunktionen verwendet, da x eine kontinuierliche Variable ist. Die linke Verteilung ($f_N(x)$) stellt die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion dar, daß x allein

durch Lärm entsteht, und die rechte Verteilung ($f_{SN}(x)$), daß x durch Lärm plus Signal hervorgerufen ist. Die beiden Klassen von Lärm und Lärm plus Signal sind in ihrer Bildung, in ihrem Gebrauch und ihrer Fortentwicklung aufeinander bezogen. Der Beobachter ordnet ein Ereignis nicht in absolute Klassen ein, er nimmt vielmehr Relationen zwischen den ihm zur Verfügung stehenden Kategorien wahr. Er erkennt bei der Wahrnehmung eines Ereignisses, welche Beziehungen für dieses Ereignis zwischen den beiden Kategorien N und SN bestehen. Das heißt, er kennt die Wahrscheinlichkeitsdichte, daß ein Ereignis auf Grund von Lärm allein ($f_N(x)$) oder durch Lärm plus Signal ($f_{SN}(x)$) zustande gekommen ist. Für jede Affizierung des sensorischen Systems besteht also das Verhältnis der Wahrscheinlichkeitsdichten („likelihood ratio" $l(x)$):

$$l(x) = f_{SN}(x) : f_N(x).$$

Daraus wird deutlich, daß jedes sensorische Datum ungeachtet seiner Komplexität in einem einzigen numerischen Wert $l(x)$ dargestellt werden kann, dessen Repräsentation auf einer einzigen Dimension vorzunehmen ist. Die Betrachtung dessen, was der Entscheidung der Person zugrunde liegt, als eindimensional, ist gerechtfertigt, da wir das sensorische Ereignis mit dem ihm zukommenden likelihood ratio identifizieren können. Damit wird die Achse des sensorischen Ereignisses (x), die Entscheidungsachse, zur Achse des likehood ratio $l(x)$.

Auf der Basis des in seiner Größe variierenden sensorischen Ereignisses x bzw. seines ihm zukommenden Wahrscheinlichkeitsdichteverhältnisses $l(x)$ entscheidet der Beobachter in einer detection-Aufgabe für jedes gegebene x_i zwischen den beiden Hypothesen, ob x durch Lärm oder durch Lärm plus Signal entstanden ist. Beide Hypothesen treffen mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten für jedes x_i zu.

Der Beobachter wird die Umstände spezifizieren, unter denen er sich für die Hypothese SN („ja, es liegt ein Signal vor") entscheiden will, indem er einen Kriteriumswert (β), ein Wahrscheinlichkeitsdichteverhältnis von bestimmter Größe, festsetzt, mit dem er das jeweilige $l(x_i)$ vergleicht. Wenn $l(x_i)$ größer als β, wird er „ja" (A) sagen, wenn $l(x_i)$ kleiner ist als β, wird er „nein" (B) sagen.

Bei Anwendung dieser Entscheidungsregel bestehen folgende Fehlermöglichkeiten:

Es wird die Entscheidung A getroffen, wenn N vorliegt; d.h. es tritt ein sog. „*falscher Alarm*" auf. Die Entscheidung B, wenn SN realisiert ist, würde ein „*verpaßtes Signal*" bedeuten. Falsche Alarme können wir in Analogie zur Prüfung von Hypothesen in der Statistik als Typ I-Fehler und verpaßte Signale als Typ II-Fehler auffassen. In der Theorie des statistischen Schließens meint ein Fehler vom Typ I das Zurückweise

einer richtigen Nullhypothese und ein Fehler vom Typ II die Aufrechterhaltung einer falschen Nullhypothese.

Auf Grund der Kontinuitätsannahme kann die detection-Theorie das Auftreten von beiden Fehlerarten erklären. Wenn N vorliegt, kann β durch die Zufallsschwankungen des Lärms überschritten werden, was bei Anwendung der Entscheidungsregel zu einem falschen Alarm führt. In ähnlicher Weise kann infolge dieser Oszillation bei einem Ereignis SN der Kriteriumswert nicht erreicht werden und die Entscheidung B getroffen werden.

Aus Arbeiten der detection-Theorie (z.B. Swets, Tanner und Birdsall, 1961) gehen die Determinanten des β-Wertes hervor. β ist einmal von den a priori-Wahrscheinlichkeiten der Stimulus-Bedingungen abhängig. Ein niedriger Wert von β wird durch eine große Wahrscheinlichkeit von SN und eine geringe Wahrscheinlichkeit von N erzielt. Dagegen ist bei einer geringen Signalrate und einer hohen Wahrscheinlichkeit der Nicht-Signale ein hoher β-Wert vorhanden. In Vigilanzaufgaben haben wir auf Grund der geringen Wahrscheinlichkeit der kritischen Signale allgemein mit relativ hohen β-Werten zu rechnen.

Die zweite Determinante des Entscheidungskriteriums ist in den Utilitäten der „outcomes" zu sehen. Swets, Tanner und Birdsall (1961) beweisen mit Hilfe einer „expectedvalue"-Definition des Entscheidungsoptimums, daß eine Maximierung des Erwartungswertes einer Entscheidung durch eine Erhöhung der $P(A|SN)$, d.h. der hits, und eine Verringerung der $P(A|N)$, d.h. der false alarms zu erzielen ist. Ein hoher Wert von β wird demzufolge durch eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von N sowie durch eine Erhöhung des positiven Wertes von richtigen Zurückweisungen und/oder eine Reduzierung der Kosten von falschen Alarmen erreicht. Dagegen wird β vermindert durch eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von SN und eine Erhöhung des Wertes von richtigen Entdeckungen und/oder eine Verminderung der Kosten von verpaßten Signalen.

Wenn wir in einem detection-Experiment die Signalraten festlegen sowie die costs und values der Entscheidungsmöglichkeiten quantitativ bestimmen, können wir den jeweiligen β-Wert ermitteln. Ein hoher Wert von β, der durch relativ hohe Kosten von falschen Alarmen und geringe Gewinne bei richtigen Entdeckungen zustandekommt, bezeichnen wir als „Vorsichts-Kriterium", da die Vp nur mit Vorsicht eine A-Entscheidung treffen wird. Dagegen sprechen wir von einem „Risiko-Kriterium", wenn ein niedriger β-Wert auf hohen Gewinnen bei richtigen Signalentdeckungen und geringen Kosten von falschen Alarmen beruht; die Vp wird dann bei ihren Signalentdeckungen gelegentlich falsche Alarme „riskieren".

In Hinsicht auf die Vigilanzleistung besteht die Möglichkeit, die häufig beobachtete Empfindlichkeit der Entdeckungsleistung gegenüber Motivationsbedingungen als Veränderung der bei der Signalentdeckung verwendeten Sorgfalt aufzufassen. Daß Hinweise für die Abhängigkeit der Vigilanzleistung von Motivationsvariablen bisher nur vereinzelt aufgegriffen sind (z. B. Loeb und Jeantheau, 1958; McCormack, 1959, 1962), ist angesichts der Ergebnisse und Diskussionen der Schule der Social Perception (Graumann, 1955/56) über die engen Beziehungen zwischen Motivation und Wahrnehmung erstaunlich. Die motivationale Steuerung des Vigilanzverhaltens kann durch Variation der Utilitäten der Entscheidungsmöglichkeiten systematisch untersucht werden. Wir nehmen an, daß die Wirkung von Motivationsvariablen in einer Veränderung des Kriteriums für die Unterscheidung von Signal- und Nicht-Signalreizen besteht.

So könnte die überlegene Entdeckungsleistung jener Vpn, die in Anwesenheit des Vl (Fraser, 1953), eines zweiten Beobachters (Bergum und Lehr, 1962) oder einer Autoritätsperson des Berufslebens der Vp (Bergum und Lehr, 1963) dadurch zu erklären sein, daß durch die Betonung von Wettbewerb oder autoritärer Kontrolle in einer sozialen Situation die positiven und negativen Werte der Entscheidungsmöglichkeiten erhöht werden. Eine Erhöhung der Kosten von verpaßten Signalen und der Gewinne bei richtigen Signalentdeckungen aber bedeutet im Rahmen des detection-Modells eine Verminderung von β, die als eine große Bereitschaft, eine Ja-Entscheidung zu fällen, zu betrachten ist.

In den genannten Untersuchungen wurde die Rate der falschen Alarme nicht berücksichtigt. Mit Hilfe von Abb. 2 soll erläutert werden, daß sich bei einer Verschiebung des Entscheidungskriteriums die Rate der falschen Alarme kaum verändert, die Wahrscheinlichkeit der richtigen Signalentdeckungen dagegen in beträchtlichem Maße.

An Abb. 2 ist auf der x-Achse wiederum die Entscheidungsvariable x und auf der y-Achse deren Wahrscheinlichkeitsdichte aufgetragen. Hinsichtlich der Lage des Entscheidungskriteriums β in dieser Abb. scheint grundsätzlich folgende Überlegung von Wichtigkeit zu sein: für den Fall, daß die a priori-Wahrscheinlichkeiten der Stimulus-Bedingungen gleich sind, ist das optimale Kriterium für die Unterscheidung von N- und SN-Ereignissen im Schnittpunkt der beiden Kurven zu lokalisieren. In Vigilanzaufgaben jedoch, in denen die Wahrscheinlichkeit der N wesentlich größer ist als die der SN, haben wir allgemein mit größeren β-Werten zu rechnen, die rechts vom Schnittpunkt der Kurven dargestellt werden.

In Abb. 2 soll $l(x_1)$ ein Risiko-Kriterium und $l(x_2)$ ein Vorsichts-Kriterium symbolisieren. Ein Vergleich der Integrale, die durch die beiden Ordinaten in $l(x_1)$, und $l(x_2)$, die x-Achse und die Kurvenzüge $f_N(x)$ bzw. $f_{SN}(x)$ gebildet werden, ergibt folgendes: das linksschraffierte Integral, das durch die N-Kurve begrenzt wird, ist wesentlich kleiner als das Integral

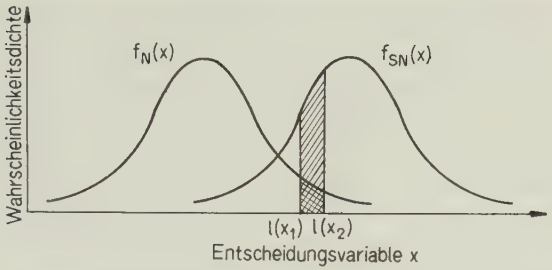

Abb. 2. Entdeckungsleistung bei einem Risiko-Kriterium ($l(x_1)$) und einem Vorsichts-Kriterium ($l(x_2)$)

unter der *SN*-Kurve. Das bedeutet, daß ein Beobachter mit einem Risiko-Kriterium einen geringfügigen Teil von falschen Alarmen, aber einen großen Teil von richtigen Entdeckungen mehr hat als ein Beobachter, der ein Vorsichts-Kriterium angenommen hat.

Die Zweckmäßigkeit, diese Betrachtungsweise des detection-Modells auch auf die Leistung in Vigilanzaufgaben auszudehnen, wird durch eine Untersuchung von Sipowicz u.a. (1962) nahegelegt. Die Autoren fanden, daß die in der Kontrollgruppe beobachteten Leistungsdifferenzen in den experimentellen Gruppen, denen einmal „Kenntnis der Resultate" übermittelt, zum anderen eine von der Leistung abhängig gemachte Geldbelohnung versprochen wurde, auf ein einheitliches, nahezu 100%iges Entdeckungsniveau gebracht wurden. Dabei unterschieden sich „Kenntnis der Ergebnisse" und Geldbelohnung nicht in ihrer Wirkung auf die Leistung. Weiterhin zeigte sich bei „Kenntnis der Ergebnisse" eine — wenn auch nicht signifikant — größere Anzahl von falschen Alarmen. Die geringfügige Veränderung der falschen Alarme in Zusammenhang mit einer starken Erhöhung der richtigen Signalentdeckungen scheint die Vermutung zu bestätigen, daß Motivationsvariable die bei der Signalentdeckung verwendete Sorgfalt im Sinne der detection-Theorie affizieren.

Möglicherweise können wir mit Hilfe der dargestellten Risiko-Hypothese Aufschluß über die zeitliche Veränderung der Vigilanzleistung gewinnen. Dieser Hypothese zufolge fassen wir den Abfall der Signalentdeckungen von der ersten zur zweiten Beobachtungsperiode als Ausdruck einer Verschiebung des Entscheidungskriteriums zu größerer Vorsicht auf. Wir nehmen an, daß die Vp zu Beginn einer Vigilanzaufgabe ein Risiko-Kriterium annimmt, das sich im Verlauf der Aufgabe in Richtung vergrößerter Vorsicht verstellt. Mit der Verlagerung von $l(x_1)$ zu $l(x_2)$ geht eine geringfügige Abnahme der falschen Alarme, aber eine starke Verminderung der richtigen Signalentdeckungen vonstatten.

B. Versuchsanordnung

Die Organisation des Stimulus-Materials ist nach Piagets (1966) Konzeption über die Gliederung des Wahrnehmungsraums eine für die Signalentdeckung wichtige Variable. Im Cambridge Clock-Test ist der für die Signalentdeckung

kritische Bereich ein sich ruckweise vorwärts bewegender Zeiger, der sich vor dem irrelevanten Hintergrund des Ziffernblattes abhebt.

In der eigenen Untersuchung wurde eine Vereinfachung und Präzisierung dieser Gliederung in kritischen Signalbereich und irrelevante Peripherie vorgenommen: der Bereich der Signale ist ein eng umrissener Ort der Anzeigeeinheit, nämlich ihr Zentrum, wohingegen wir den irrelevanten Bereich der Nicht-Signalreize als Peripherie der Signalquelle bestimmen. Daß die Mitte eines Feldes einen ausgezeichneten Punkt darstellt, der am stärksten beachtet wird, geht aus einer Vigilanzuntersuchung von Baker (1958) hervor; von den Signalen, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit an verschiedenen Stellen eines TV-ähnlichen Schirms auftauchen können, werden periphere wesentlich häufiger als mittlere verpaßt.

In der eigenen Anordnung hat die Vp drei quadratische (25×25 cm) auf einem schwarzen Brett angebrachte Mattscheiben zu beobachten, hinter denen jeweils 13 Glühlämpchen installiert sind. Als Signal ist das Aufleuchten des Lämpchens in der Mitte jeder Signalquelle für die Dauer von 1,5 sec definiert. Die Entdeckung eines Signals zeigt die Vp durch das Niederdrücken einer bestimmten Taste an. Die Reizdarbietung und Reaktionsregistrierung erfolgte vollautomatisch.

Die irrelevanten Reize sind Lämpchen außerhalb des Zentrums, die in verschiedenen Kombinationen ebenfalls für 1,5 sec mit einer Pause von 0,5 sec aufleuchten. Insgesamt konnten 12 verschiedene Kombinationen der Nicht-Signallämpchen realisiert werden; diese 12 Lämpchen-patterns sind in einer Zufallsfolge von 50 etwa gleich häufig vertreten, die während des Versuchs ohne Unterbrechung dauernd wiederholt wird.

Das rhythmische Aufleuchten und Erlöschen der Lämpchen nimmt eine Aufteilung der Aufgabendauer von insgesamt 65 min in 1920 „Beobachtungsintervalle" vor. In 48 der 1920 Beobachtungsintervalle werden Signale gegeben, während in den übrigen 1872 nur die peripheren Nicht-Signallämpchen aufleuchten. Das heißt, in den Beobachtungsintervallen ist entweder nur „Lärm" (N) auf den Mattscheiben vorhanden oder „Signal plus Lärm" (SN), das zusätzliche Aufleuchten einer der zentralen Lampen.

Im Verlauf der Beobachtungsaufgabe wurde viermal ohne Unterbrechung ein der Mackworth-Serie (1950) angeglichenes Signalprogramm gegeben. In unserer Serie der Darbietungen enthielten einige Lämpchen-Kombinationen ein Signal, und zwar im ersten Viertel der Aufgabe die folgenden Beobachtungsintervalle: 12 – 24 – 49 – 80 – 112 – 129 – 209 – 224 – 240 – 272 – 320 – 480. Der Abfolge der aufgeführten Beobachtungsintervalle entspricht folgende Zeitbasis in sec: 24 – 48 – 98 – 160 – 224 – 258 – 418 – 448 – 480 – 544 – 640 – 960.

Eine Übungsperiode von ca. 15 min diente dazu, die Vp mit den zeitlichen Verhältnissen von Beobachtungsintervall und Pause vertraut zu machen. In dieser Einübungsphase lernt die Vp, daß das Auftauchen eines Signals gleichzeitig mit dem Aufleuchten der Nicht-Signale erfolgt und daß die Signale noch innerhalb des zugehörigen Beobachtungsintervalls registriert werden sollen.

Die Einteilung der Vigilanzaufgabe in Beobachtungsintervalle dient der Bestimmung der Falschen-Alarm-Rate. Die Wahrscheinlichkeit von richtigen Signalentdeckungen ($P(A\ SN)$) ist die Rate von Signalregistrierungen in den SN-Beobachtungsintervallen, was der Entdeckungswahrscheinlichkeit in den üblichen, nicht in diskrete Einheiten zerlegten Vigilanzaufgaben entspricht. Die Ermittlung der Rate der falschen Alarme ($P(A|N)$) ist infolge der Beschränkung des Zeitpunktes, zu dem überhaupt ein Signal auftreten kann — nämlich zu Beginn eines Beobachtungsintervalls — in ähnlicher Weise möglich: die false-alarms-Wahrscheinlichkeit ist die Rate der Signalregistrierung bei jenen Beobachtungsintervallen, in denen kein Signal gegeben wurde (N).

	ein Signal vorhanden	kein Signal vorhanden
eine Taste drücken	+50	−1
keine Taste drücken	−50	+1

a) Risko-Matrix

	ein Signal vorhanden	kein Signal vorhanden
eine Taste drücken	+1	−50
keine Taste drücken	−1	+50

b) Vorsichts-Matrix

Abb. 3. Die pay-off-Matrices

Die Zusammenschaltung der Lämpchen gestattet es, nur eine oder alle drei Mattscheiben zu beleuchten. Bei einflächiger Darbietungsweise wird nur eine Fläche zur Darbietung relevanter und irrelevanter Reize verwendet. Unter mehrflächigen Darbietungsbedingungen dagegen werden auf allen drei Flächen unabhängig voneinander Signale gegeben, wobei die zeitliche Verteilung der Signale auf die drei Flächen zufällig ist mit der Einschränkung, daß auf allen drei Flächen insgesamt gleich viele Signale aufleuchten.

Neben der Anzahl der Signalquellen wurde in unseren Vigilanzaufgaben die Menge der irrelevanten Stimulation verändert. Als irrelevante Stimulation gilt sowohl in der einflächigen als auch in der mehrflächigen Beobachtungsaufgabe das Aufleuchten der peripheren Lämpchen. Die Veränderung der Anzahl der Nicht-Signalreize ermöglicht eine quantitative Abstufung der irrelevanten Stimulation. Dabei wird das Vorhandensein von 2—4 Lämpchen pro Fläche als eine monotone Beobachtungssituation aufgefaßt und als stärker aktivierende Stimulationsbedingung das Aufleuchten von 9—12 irrelevanten Lämpchen auf jeder Signalquelle.

Den Zusammenhang zwischen den Wahrscheinlichkeiten von richtigen Signalentdeckungen und falschen Alarmen wollen wir durch die Kategorie der Risikobereitschaft zu klären suchen, die die dritte unabhängige Variable unserer Experimente darstellt. Die Veränderung der Risikobereitschaft der Vigilanzsituation wurde durch Variation der Kosten von falschen Alarmen und verpaßten Signalen sowie der Gewinne bei richtigen Entscheidungen erzielt. Die Utilitäten der Entscheidungsmöglichkeiten wurden nach der Übungsperiode, in der die Vp Signaldarbietungen von Nicht-Signaldarbietungen zu unterscheiden lernte, mit Hilfe von „pay-off"-Matrices festgelegt.

Die in Abb. 3a wiedergegebene Matrix soll die Vp zum Risiko von falschen Alarmen veranlassen. Weiterhin erwarten wir, daß die Matrix b von Abb. 3 der Vp besondere Vorsicht bei der Signalentdeckung vermittelt. In den entsprechenden Instruktionen wurde die Bedeutung der jeweiligen Matrix ausführlich erläutert und ihr Verständnis durch Fragen an die Vp gesichert.

Da jede unserer drei allgemeinpsychologischen Variablen, d.h. „Anzahl der Flächen" (A), „Menge der irrelevanten Stimulation" (B) und „Art der Motivation" (C) in zwei Ausprägungsgraden verwendet wurde, ergibt sich als Versuchsplan ein $2\times2\times2$-Design. Die 8 möglichen Kombinationen der Versuchsbedingungen wurden 8 verschiedenen Vpn-Gruppen zu je 10 Vpn gegeben. Die Vpn führten die Experimente im Einzelversuch durch. Insgesamt nahmen 80 Studenten verschiedener Fakultäten an den Hauptversuchen teil. Weitere 60 Studenten hatten sich für die umfangreichen Vorversuche zur Verfügung gestellt.

C. Die entdeckten Signale

Der Abhängigkeit der Entdeckungsleistung von der Anzahl der Signalquellen ist in der Vigilanzforschung großes Interesse entgegen gebracht worden (Broadbent, 1950, 1951; Jerison, 1957, 1959; Jerison und Wallis, 1957; Jerison und Wing, 1957). Die Erklärung der verschiedenen zeitlichen Vigilanzphänomene bei ein- und mehrflächiger Darbietungsweise setzt die Angabe der kritischen Vorbedingungen voraus, die bei Veränderung der Anzahl der Signalquellen die Beobachtungsleistung allgemein beeinflussen. So scheint es — besonders angesichts der Auswirkungen von Lärmdarbietung auf die Vigilanzleistung — notwendig, die Rolle der irrelevanten Stimulation gleicher Sinnesmodalität wie die Signalreize zu klären. Wir werden zunächst die Gesamtleistung von den zeitlichen Veränderungen der Entdeckungswahrscheinlichkeit trennen, um allgemein die Art der Aufgabe in ihren Eigenarten bestimmen zu können.

Bei unserem Versuch, das detection-Modell zur Systematisierung des Motivationsgeschehens in Vigilanzaufgaben heranzuziehen, geht es nicht so sehr um die detaillierte Analyse von detection-Maßen in zeitlich ausgedehnten Aufgaben wie um die allgemeine Betrachtung der üblichen Vigilanzindikatoren unter dem Aspekt der Risikobereitschaft. Ausschlaggebend für den Verzicht auf die Ermittlung der detection-Scores d' und β ist einerseits unser Interesse am Vigilanzverhalten, andererseits die mit der Untersuchung der Vigilanzleistung verbundene Frage der inter-individuellen Differenzen. Die Verwendung der Wahrscheinlichkeit von richtigen Signalentdeckungen anstelle der detection-Scores d' und β gewährleistet die Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse mit denen aus anderen Untersuchungen zum Vigilanzverhalten, das im Mittelpunkt unserer Arbeit steht. Weiterhin verhindern die zu erwartenden großen Streuungen von richtigen Signalentdeckungen und falschen Alarmen sowie das seltene Auftreten der letzteren eine verläßliche Bestimmung der detection-Maße. Die Eliminierung eines Teils dieser Varianz durch die Verwendung — u.U. wochenlanger — Einübungsperioden mußte aus Ökonomiegründen unterlassen werden. Über die inter-individuellen Differenzen der Vigilanzleistuug wird demnächst berichtet.

I. Hypothesen

Zur Bestimmung der Wirkung von irrelevanten Reizen in Vigilanzaufgaben können zwei theoretische Ansätze herangezogen werden, die in ihrer ursprünglichen Form einander entgegengesetzte Vorhersagen ermöglichen. Die von Deese (1955) zur Interpretation des Vigilanzverhaltens verwendete Aktivationstheorie nimmt an, daß irrelevante Stimulation die Aktivierungswirkung der Formatio reticularis unterstützt

und die Überwachungsleistung verbessert. Dagegen meint die Filter-Konzeption (Broadbent, 1958), daß irrelevante Reize die Anzahl der Filterumschaltungen erhöhen, was eine Verschlechterung der Beobachtungsleistung erwarten ließe.

Da für beide Positionen entsprechende Untersuchungsergebnisse aus Vigilanzliteratur und Lärmforschung angeführt werden können, d.h. sowohl die arousal- als auch die distraction-Wirkung irrelevanter Stimulation als gesichert anzusehen ist, versuchten beide Ansätze, durch Differenzierung ihrer Annahmen die ursprünglich ihrer Vorhersage nicht entsprechenden Ergebnisse zu integrieren. So ist in der umgekehrt-U-förmigen Beziehung zwischen Aktivierung und Leistung formuliert, daß die Frage, ob bei Darbietung von irrelevanter Stimulation eine Leistungsverbesserung oder eine Leistungsverschlechterung resultiert, von dem Grad der hervorgerufenen Aktivierung, bzw. von der Stärke oder Menge der irrelevanten Stimulation abhängig ist.

Wenn auch in der arousal-Konzeption und der Filtertheorie Modifikationen vorgenommen wurden, so bleiben doch die alternativen Vorhersagen über die Wirkung von irrelevanter Stimulation im Ansatz erhalten (z.B. McGrath, 1963). Unser Interesse an der Bedeutung von irrelevanter Stimulation ist durch die Analyse der Entdeckungsleistung bei mehrflächiger Darbietungsweise bedingt. Im Hinblick auf die Rolle der Nicht-Signalreize in mehrflächigen Vigilanzaufgaben gelangen wir auf Grund einiger Annahmen über den informationsverarbeitenden Mechanismus zu einer Hypothese, die von den beiden oben aufgestellten abweicht.

Unsere Annahmen gehen auf Piagets (1966) Überlegungen zur Gliederung des Wahrnehmungsraums zurück. Die Strukturierung von relevantem Zentrum und irrelevanter Peripherie im Wahrnehmungsprozeß findet in unserer Versuchsanordnung ihre Entsprechung in der Gliederung der Signalquellen. Die Vp hat sowohl im einflächigen als auch im mehrflächigen Vigilanzversuch eine Organisation der Signalquellen in kritisches Zentrum und irrelevante Peripherie vorzunehmen.

Mit „Zentrierung" bezeichnen wir die von der Vp vollzogene Abgrenzung des kritischen Signalbereichs. Unter „Dezentrierung" wollen wir die Wanderung des Blicks oder der Aufmerksamkeit auf irrelevante Bereiche der Signalquelle verstehen. Eine Dezentrierung, die das Verpassen von Signalen erklärt, besteht in der Aufhebung der von der Vp geforderten Gliederung des Wahrnehmungsraums.

Die Wahrscheinlichkeit von inadäquaten Gliederungen einer Signalquelle steigt mit der Anzahl der insgesamt auszuführenden Zentrierungen an. Im einflächigen Vigilanzversuch hat die Vp bei jedem Aufleuchten der Lämpchen — ungeachtet ihrer Kombination und ihrer Anzahl — eine einzige Abgrenzung des Signalbereichs vorzunehmen, wobei die Richtung der Zentrierungen während der ganzen Aufgabe unverändert ist.

Da die Ausdehnung des Aufmerksamkeitszentrums auf einen eng umrissenen Bereich begrenzt ist, muß die Vp in der mehrflächigen Vigilanzaufgabe das räumliche Nebeneinander der Signalquellen in ein zeitliches Nacheinander auflösen. Das bedeutet, daß mit dem Wechsel der Zentrierungsrichtungen bei mehrflächiger Darbietungsweise eine Verdreifachung der Gesamtzahl der Zentrierungen verbunden ist. Demzufolge bringen wir den Wechsel der Zentrierungsrichtungen mit der in der Aufgabe geforderten Flexibilität in Zusammenhang.

Wir nehmen an, daß die Dezentrierungen von der Anzahl der Signalbereiche, nicht aber von der Anzahl irrelevanter Reize gleicher Sinnesmodalität wie ein Signal abhängig ist. Die Gliederung der Signalquellen in kritisches Zentrum und irrelevante Peripherie ist in unserer Anordnung durch die Lage und Größe des jeweiligen Signalbereichs festgelegt, der konstant gehalten ist. Diese Gliederung, d.h. die räumliche Beziehung zwischen relevantem und irrelevantem Teil der Signalfläche wird durch die Anzahl irrelevanter Reize in unserer Versuchsanordnung nicht verändert.

Die dritte Variable unserer Untersuchung, die Utilitäten der Entscheidungsmöglichkeiten, scheint im Rahmen des detection-Modells einen Zugang zur Systematisierung des Motivationsgeschehens in Vigilanzaufgaben zu eröffnen. Der Kernpunkt der Überlegungen des detection-Modells für die Untersuchung der Vigilanzleistung besteht in dem Nachweis, daß bei einer Veränderung der Utilitäten der Entscheidung sich die Rate der falschen Alarme unmerklich, die Wahrscheinlichkeit der richtigen Signalentdeckungen in weit stärkerem Maße verschiebt.

Dem detection-Modell zufolge affiziert eine Veränderung der Utilitäten der Entscheidung nicht die eigentliche Wahrnehmungsleistung, sondern einen Response-Faktor, der die Bereitschaft betrifft, in einer Situation der Signalentdeckung eine Ja-Entscheidung zu fällen. Die Einstellung dieses Kriteriumswertes für die Unterscheidung von Signal- und Nicht-Signalreizen ist von den Utilitäten der Entscheidung abhängig: bei Reduktion der Kosten von falschen Alarmen und Erhöhung der Gewinne bei richtigen Signalentdeckungen ergeben sich hohe Werte für den Kriteriumswert β und bei hohen Verlusten bei falschen Alarmen und geringen Gewinnen bei richtigen Signalentdeckungen niedrige β-Werte.

Der Einfluß der Utilitäten der Entscheidungsmöglichkeiten auf die false-alarms-Wahrscheinlichkeit wird an anderer Stelle ausführlich behandelt. Für die Rate der richtig entdeckten Signale ist auf Grund des detection-Modells eine bedeutende Erhöhung zu erwarten, wenn wir die Kosten von falschen Alarmen vermindern und bei echten Signalentdeckungen einen hohen Gewinn in Aussicht stellen, wie es in unserer Risiko-Instruktion der Fall ist.

Zusammenfassend stellen wir folgende Hypothesen auf:

1. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit bei einflächiger Darbietungsweise ist höher als bei Vorhandensein von drei Signalquellen.

2. Die Anzahl der peripheren Nicht-Signalreize beeinflußt die Beobachtungsleistung nicht.

3. Bei Risiko-Motivation ist die Rate der richtigen Signalentdeckungen höher als bei Vorsichts-Motivation.

II. Ergebnisse

Aus technischen Gründen konnten für Reaktionen, die nach dem Erlöschen der Lämpchen am Ende eines Beobachtungsintervalls erfolgten, keine Antwortlatenzen gemessen werden. Obwohl die Vp in der Einübungsperiode dazu aufgefordert worden war, bei einer Signalentdeckung während des jeweiligen Beobachtungsintervalls zu reagieren, wurde doch eine Anzahl von Signalregistrierungen in den nachfolgenden Pausen gegeben. Dementsprechend wurde in der Auswertung sowohl die Wahrscheinlichkeit der Gesamtzahl der Signalentdeckungen als auch die Rate der rechtzeitig registrierten Signale und deren mittlere Antwortlatenz berücksichtigt. Für die jeweiligen Vigilanz-Scores wurden $2 \times 2 \times 2$-Varianzanalysen für unabhängige Stichproben nach Winer (1962, 248ff.) gerechnet.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse der Entdeckungswahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Wie aus den Mittelwerten hervorgeht, besagt der signifikante „main-effect" A eine eindeutige Überlegenheit der Beobachtungsleistung bei einflächiger gegenüber mehrflächiger Darbietungsweise. Die Anzahl der Nicht-Signalreize (B) beeinflußt die Entdeckungswahrscheinlichkeit nicht. Weiterhin ist aus den entsprechenden Mittelwerten im Hinblick auf die Wirkung der

Tabelle 1. *Varianzanalyse der Wahrscheinlichkeiten von entdeckten Signalen*

Varianzquelle	*df*	Quadratsumme	Mittlere Quadratsumme	*F*	*p*
Zw. A (Flächen)	1	1,482	1,482	50,611	$< 0{,}01$
Zw. B (irrel. Reize)	1	0,026	0,026	0,895	
Zw. C (Motivation)	1	0,289	0,289	9,874	$< 0{,}01$
WW. $A \times B$	1	0,013	0,013	0,454	
WW. $A \times C$	1	0,003	0,003	0,102	
WW. $B \times C$	1	0,014	0,014	0,492	
WW. $A \times B \times C$	1	0,137	0,137	4,674	$< 0{,}05$
Innerhalb	72	2,109	0,029		
Total	79	4,074			

Motivation (C) ersichtlich, daß die Gesamtzahl der entdeckten Signale bei Risiko-Motivation höher ist als bei der Anweisung, falsche Alarme zu unterdrücken. Diese Ergebnisse stimmen mit den aufgestellten Hypothesen überein. Die signifikante Dreifach-Interaktion $A \times B \times C$ werden wir infolge der geringen Zellengröße nicht interpretieren.

Aus der Zusammenfassung der Varianzanalyse der Wahrscheinlichkeiten von rechtzeitigen Signalentdeckungen (s. Tabelle 2) geht hervor, daß nur die Anzahl der Signalquellen (A) einen signifikanten Effekt auf die Vigilanzleistung ausübt. Die Wahrscheinlichkeit der rechtzeitig registrierten Signale wird durch die Art der Motivation (C) nicht beeinflußt (Zw. $C: p > 0{,}05$).

Tabelle 2. *Varianzanalyse der Wahrscheinlichkeiten von rechtzeitig registrierten Signalen*

Varianzquelle	*df*	Quadrat-summe	Mittlere Quadrat-summe	*F*	*p*
Zw. A (Flächen)	1	4,651	4,651	158,747	$< 0{,}01$
Zw. B (irrel. Reize)	1	0,016	0,016	0,546	
Zw. C (Motivation)	1	0,106	0,106	3,614	
WW. $A \times B$	1	0,013	0,013	0,451	
WW. $A \times C$	1	0,049	0,049	1,655	
WW. $B \times C$	1	0,0001	0,0001	0,003	
WW. $A \times B \times C$	1	0,039	0,039	1,341	
Innerhalb	72	2,115	0,029		
Total	79	6,989			

Die Antwortlatenz (s. Tabelle 3) ist von der Anzahl der Signalflächen (A) abhängig: den Mittelwerten zufolge ist die Antwortzeit bei einflächiger Darbietungsweise wesentlich kürzer als bei mehrflächiger. Weiterhin ergab sich eine signifikante Einflußnahme der Motivation (C) auf die Antwortlatenz in der Weise, daß unter Risiko-Motivation die Registrierung der Signale schneller als bei Motivation Vorsicht erfolgt, und zwar besonders bei Vorhandensein von einer einzigen Signalquelle ($A \times C: p < 0{,}01$).

In die Diskussion können wir nicht alle Ergebnisse aufnehmen, die zur mittleren Antwortlatenz und zur Rate der rechtzeitigen Signalentdeckungen ermittelt wurden. Wir werden nur die motivationalen Einflüsse berücksichtigen.

III. Diskussion

Nach unseren Ergebnissen besitzen irrelevante Reize, die sich von den Signalen nur durch ihre Position unterscheiden, weder einen arousal-

Tabelle 3. *Varianzanalyse der mittleren Antwortlatenzen von rechtzeitig registrierten Signalen*

Varianzquelle	*df*	Quadrat-summe	Mittlere Quadrat-summe	*F*	*p*
Zw. *A* (Flächen)	1	3,015	3,015	339,240	$<0{,}01$
Zw. *B* (irrel. Reize)	1	0,028	0,028	3,123	
Zw. *C* (Motivation)	1	0,063	0,063	7,121	$<0{,}01$
WW. $A \times B$	1	0,002	0,002	0,260	
WW. $A \times C$	1	0,161	0,161	18,128	$<0{,}01$
WW. $B \times C$	1	0,00003	0,00003	0,004	
WW. $A \times B \times C$	1	0,0009	0,0009	0,103	
Innerhalb	72	0,640	0,009		
Total	79	3,910			

noch einen distraction-Effekt. Da trotz der Wirkungslosigkeit der irrelevanten Reize in unseren Versuchen ein Flächeneffekt in Hinblick auf die Beobachtungsleistung nachzuweisen ist, ergibt sich die Forderung, eine Einschränkung der arousal-Wirkung von irrelevanten Reizen in Vigilanzaufgaben sowie eine Präzisierung der Bedingungen von distraction-Effekten vorzunehmen, bzw. die Generalisierbarkeit unserer Ergebnisse für die Wirkung irrelevanter Stimulation auf die Vigilanzleistung abzugrenzen.

Die arousal-Theorie erfaßt die Entdeckungsleistung im mehrflächigen Vigilanzversuch als Ausdruck einer optimalen Aktivierung, die durch die größere Menge irrelevanter Stimulation im 2-Uhren-Versuch oder im 3-Uhren-Versuch (Jerison, 1963; Jerison und Wallis, 1957) zustandegebracht wird. Wie aus unseren Ergebnissen hervorgeht, ergibt sich in der mehrflächigen Beobachtungsaufgabe bei Vorhandensein von wenigen peripheren Nicht-Signalreizen eine wesentlich schlechtere Entdeckungsleistung als im einflächigen Vigilanzversuch bei Darbietung von vielen irrelevanten Elementen. Nach der arousal-Theorie wäre die gleiche Entdeckungsleistung unter diesen Beobachtungsbedingungen zu erwarten die die Vp in beiden Fällen mit insgesamt 9—12 irrelevanten Reizen konfrontieren, einmal auf einer Fläche und zum anderen auf drei Signalquellen verteilt dargeboten. Da die Menge der Nicht-Signalreize eine wesentlich geringere Rolle zu spielen scheint als ihre Verteilung auf die Anzahl der Signalflächen, muß eine arousal-Konzeption in ihre Erklärung des Flächeneffekts der Vigilanzleistung spezielle Annahmen über die Eigenart des Wahrnehmungsmechanismus' mit einbeziehen.

Der Erklärung der Beobachtungsleistung in komplexen Vigilanzaufgaben durch das Prinzip der Filterumschaltung stellen sich ebenfalls

einige Schwierigkeiten entgegen. Zunächst ist hervorzuheben, daß unsere Anordnung der Signal- und Nicht-Signalreize gerade durch die genaue Bestimmung der Positionen, die der Filter einnehmen soll, bei dreiflächiger Darbietungsweise der Tendenz zum filter-switching Rechnung trägt. Demzufolge müßte in der mehrflächigen Vigilanzaufgabe eine bessere Leistung als in der einflächigen zu beobachten sein, was nach unseren Ergebnissen nicht der Fall ist.

Wenn der Wechsel der Aufmerksamkeitsrichtung nicht die geringe Beobachtungsleistung bei mehrflächiger Darbietungsweise erklären kann, so widersetzt sich einer Filterinterpretation im Sinne einer erhöhten Anzahl von Filterumschaltungen infolge irrelevanter Stimulation der fehlende distraction-Effekt der Nicht-Signalreize, wie bereits betont wurde.

Möglicherweise ist in anderen mehrflächigen Vigilanzaufgaben, in denen die Vp sich ruckweise vorwärts bewegende Zeiger oder hin und her schwankende Nadeln vor Uhren-ähnlichen Ziffernblättern abzuheben hat, ein Einfluß von irrelevanter Stimulation auf die Beobachtungsleistung vorhanden. Es scheint aber zweckmäßig, eine allgemeine Interpretation des Flächeneffekts unabhängig von vermuteten Einflüssen der Nicht-Signalreize zu führen, da sich in unseren Versuchen weder ein Effekt der Nicht-Signalreize noch eine Interaktion zwischen Anzahl der Signalquellen und der Menge der irrelevanten Stimulation, wohl aber eine Abhängigkeit der Beobachtungsleistung von der Anzahl der Signalflächen gezeigt hat. Dieser Effekt stimmt mit unseren auf Piagets (1966) Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitstheorie zurückgehenden Hypothesen überein.

Piagets Prinzip der Zentrierung, mit dessen Hilfe die Gliederung des Wahrnehmungsraums beschrieben werden kann, richtet sich in der Interpretation der niedrigen Vigilanzleistung bei mehrflächiger Darbietungsweise auf die räumliche Signalunsicherheit als wesentliches Kennzeichen mehrflächiger Vigilanzanordnungen. Eine Zentrierung besteht in unseren Versuchen darin, daß die Vp die Homogenität der einzelnen Signalquelle aufhebt und durch Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen engen Bereich ein deutliches, relevantes Signalzentrum von einer irrelevanten, undeutlicheren Peripherie abgrenzt. Bei Dezentrierungen auf irrelevante Bereiche der Signalquelle können Signale verpaßt werden. Da im dreiflächigen Vigilanzversuch dreimal so häufig eine Abgrenzung des Signalzentrums zu erfolgen hat wie bei einflächiger Darbietungsweise, wird auch die Wahrscheinlichkeit von Dezentrierungen, damit aber die Möglichkeit, Signale zu verpassen, ansteigen.

Wir nehmen an, daß dieser Gliederungsmechanismus, der einen kleinen Ausschnitt aus dem gesamten Informationsangebot als relevant vor einem Hintergrund des Unwichtigen abhebt, nicht nur auf den

visuellen Bereich begrenzt ist, sondern daß vielmehr auch in anderen Sinnesbereichen ähnliche Gliederungsvorgänge stattfinden. Dieser Konzeption zufolge vollzieht sich die intra-modale und inter-modale Aufmerksamkeitsverteilung auf verschiedenen, hierarchisch angeordneten Organisationsstufen, denen unterschiedliche Allgemeinheitsgrade zugesprochen werden.

Bisher haben wir die hypothetischen perzeptorischen Wirkungen unseres Constructums der Aufmerksamkeit dargestellt. Die Behandlung der Aufmerksamkeit unter motivationalem Aspekt stellt Response-Faktoren in den Mittelpunkt der Betrachtung. Auch die Veränderung der Response-Bedingungen, d.h. in unserer Anordnung der Gewinne bei richtigen Entscheidungen und der Verluste bei Fehlern, übt einen deutlichen Effekt auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit aus.

Aus den Ergebnissen, die die Länge der mittleren Antwortlatenz bzw. die Anzahl von rechtzeitigen Signalregistrierungen betreffen, lassen sich Hinweise dafür gewinnen, daß die Leistungsverbesserung unter Risiko-Motivation durch einen Zuwachs an „unsicheren" Signalentdeckungen zustandekommt, was den Erwartungen der detection-Theorie genau entspricht. In unseren Versuchen ergab sich, daß unter Risiko-Motivation zwar die Registrierung von Signalen bis zum Ende des Beobachtungsintervalls schneller als bei Vorsichts-Motivation erfolgt, daß sich jedoch die Anzahl der bis zum Erlöschen der Lämpchen registrierten Signale durch die verschiedenen Utilitätsbedingungen *nicht* beeinflussen läßt.

Das bedeutet, daß für die hohe Gesamtzahl der Signalentdeckungen bei Risiko-Motivation nicht etwa ein besonders schnelles Reagieren verantwortlich ist, wie man erwarten würde, wenn der Risiko-Motivationseffekt im Sinne einer erhöhten allgemeinen Reaktionsbereitschaft zu interpretieren sei. Die insgesamt unter Risiko-Motivation entdeckten Signale sind vielmehr durch eine vergrößerte Anzahl von verspäteten, d.h. in den Pausen zwischen den Beobachtungsintervallen gegebenen Signalregistrierungen gekennzeichnet. Jene Signalentdeckungen, die unter Risiko-Motivation die überlegene Beobachtungsleistung als Gesamtzahl der entdeckten Signale zustandebringen, haben besonders lange Entscheidungszeiten. Die Verlängerung einer Antwortlatenz wird sowohl in Arbeiten psychoanalytischer Ausrichtung (Jung, 1906) als auch in informationstheoretischen Ansätzen (Hick, 1949) als Indikator für das Vorhandensein mehrerer einander entgegengesetzter Reaktionstendenzen betrachtet.

Mit der Annahme der sensorischen Kontinuität postuliert die detection-Theorie anstelle des Schwellenbegriffs eine Zone des Übergangs zwischen entdeckten und nichtentdeckten Signalen. In diesem Bereich wären die unsicheren Signalentdeckungen mit langen Antwortlatenzen

zu lokalisieren. Die Position des Kriteriums auf der Entscheidungsachse bestimmt, ob diese unsicheren Signale der Klasse der entdeckten oder der Klasse der nichtentdeckten Signale zugerechnet werden. Daß diese Zuordnung hinsichtlich der unsicheren Ereignisse nicht zufällig erfolgt, sondern in Übereinstimmung mit dem detection-Modell, geht daraus hervor, daß gerade diese Signalentdeckungen mit einer langen Antwortlatenz die überlegene Beobachtungsleistung unter Risiko-Motivation ausmachen.

D. Die falschen Alarme

Die Rolle der falschen Alarme in Vigilanzaufgaben ist weitgehend ungeklärt. Ansätze zu einer systematischen psychologischen Kennzeichnung der Typ-I-Fehler sind kaum vorhanden. Ausgehend von der detection-Theorie wollen wir versuchen, eine Bedingungsanalyse der falschen Alarme vorzunehmen.

I. Hypothesen

a) Die Unsicherheitshypothese

Einige detection-Untersuchungen haben gezeigt, daß die Entdekkungsleistung abnimmt, wenn die Unsicherheit darüber, was ein Signal ist und was nicht, vergrößert wird. So ergab sich bei Vermittlung eingehender Information über Beginn und Dauer eines akustischen Signals (Egan, Greenberg und Schulman, 1959, 1961a, b, c) eine Verbesserung der detection-Leistung.

In unseren Versuchen ist durch die Synchronisierung von Signalen und Nicht-Signalen in den Beobachtungsintervallen die Unsicherheit über Beginn und Dauer eines Signals aufgehoben. Bei der Reduktion der zeitlichen Signalunsicherheit aber blieb — was für die Untersuchung der Vigilanzleistung von besonderer Bedeutung ist (z. B. Baker, 1963) — die Unsicherheit über die Struktur der Signalfolge erhalten, die in leicht modifizierter Form von Mackworth (1950) für unsere Experimente übernommen wurde.

Tanner und Jones (1959, zit. nach Swets, 1961) weisen auf die örtliche Signalunsicherheit bei visuellen Signalen als Determinante der Entdeckungsleistung hin. In unseren Versuchen wurde durch die Anzahl der Signalquellen die Unsicherheit über den Ort, an dem das folgende Signal auftaucht, verändert. Dabei blieb die räumliche Beziehung von Signalen und Nicht-Signalen auf jeder der drei Flächen erhalten. Im Gegensatz zur einflächigen Darbietungsweise, in der die Vp vollständige Information über den Ort des folgenden Signals hat, bestehen bei Vorhandensein von drei Signalquellen für jedes Signal drei örtliche Alternativen seines Auftretens. Der „Unsicherheitshypothese" zufolge erwarten wir also bei mehrflächiger Darbietungsweise eine geringere Beobachtungs-

leistung in Form einer höheren Wahrscheinlichkeit von Typ-I- und Typ-II-Fehlern.

b) Die Risikohypothese

Der menschliche Beobachter ist imstande, unter geeigneten experimentellen Bedingungen, d.h. wenn ihm die entsprechenden Informationen über die Signalparameter zugänglich gemacht werden, seine Entdeckungsleistung der optimalen Leistung anzunähern. Weiterhin vermag er — in Übereinstimmung mit dem Modell des „ideal observer" (Swets, 1964) — durch Verschiebung des Entscheidungskriteriums eine Kontrolle der Response-Faktoren vorzunehmen, indem er sich durch eine Orientierung an den objektiven costs und values an die Entscheidungssituation anpaßt.

Wie bereits hervorgehoben, ergeben sich bei geringen Verlusten für die Abgabe eines falschen Alarms und hohen Gewinnen bei richtigen Signalentdeckungen niedrige Werte des Entscheidungskriteriums β. Diese Entscheidungsbedingung versuchten wir durch die Einführung der Risiko-Matrix (s. Abb. 3a, S. 113) zu erzielen. Die Vorlage einer Vorsichts-Matrix (s. Abb. 3b, S. 113), die hohe Verluste bei falschen Alarmen und geringe Gewinne bei richtigen Entdeckungen in Aussicht stellt, sollte einen hohen β-Wert herbeiführen.

Der Vergleich der Leistungen unter den beiden Motivationsbedingungen sollte der detection-Theorie zufolge für die Rate der richtigen Signalentdeckungen eine starke Überlegenheit bei Risiko-Motivation, dagegen nur eine geringe Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von falschen Alarmen ergeben. Diese Erwartung, die wir durch Abb. 2 (s. S. 111) zu veranschaulichen suchten, hat sich im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit von richtig entdeckten Signalen bestätigt. Die Prüfung der detection-Hypothese muß durch die Untersuchung des Einflusses der Utilitäten der Entscheidung auf die falschen Alarme ergänzt werden.

Wenn wir unsere auf die detection-Theorie zurückgehenden Annahmen über die psychologische Bedeutung von falschen Alarmen zusammenfassen, kommen wir zu folgenden Hypothesen:

1. Im dreiflächigen Vigilanzversuch ist die Wahrscheinlichkeit von falschen Alarmen höher als bei Vorhandensein von nur einer Signalquelle.

2. Bei Risiko-Motivation ist eine im Vergleich zur Vorsichts-Motivation geringfügige Erhöhung der Rate von falschen Alarmen zu erwarten.

II. Ergebnisse

Als falscher Alarm oder Typ-I-Fehler wurde die Betätigung der Tasten bei Abwesenheit eines Signals gewertet, wobei unberücksichtigt

blieb, ob die Vp „absichtlich" oder „unabsichtlich" eine Signalregistrierung ausgelöst hatte. Für die Wahrscheinlichkeit der falschen Alarme wurde eine $2 \times 2 \times 2$-Varianzanalyse für unabhängige Stichproben nach Winer (1962, 248ff.) gerechnet. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Wie aus den Mittelwerten hervorgeht, besagt die signifikante Einflußnahme der Variablen A auf die Rate der Typ-I-Fehler, daß bei mehrflächiger Darbietungsweise falsche Alarme häufiger auftreten als bei einflächiger. Dieser Befund bestätigt die in der Unsicherheitshypothese formulierte Beziehung zwischen örtlicher Signalunsicherheit und der Wahrscheinlichkeit von falschen Alarmen.

Tabelle 4. *Varianzanalyse der Wahrscheinlichkeiten von falschen Alarmen*

Varianzquelle	*df*	Quadrat-summe	Mittlere Quadrat-summe	*F*	*p*
Zw. A (Flächen)	1	3892	3892	8,839	$< 0{,}01$
Zw. B (irrel. Reize)	1	62	62	0,141	
Zw. C (Motivation)	1	3201	3201	7,270	$< 0{,}01$
WW. $A \times B$	1	42	42	0,095	$< 0{,}05$
WW. $A \times C$	1	3050	3050	6,927	
WW. $B \times C$	1	17	17	0,039	
WW. $A \times B \times C$	1	85	85	0,193	
Innerhalb	72	31702	440		
Total	79	42051			

Die Menge der irrelevanten Stimulation (B) beeinflußt die Rate der falschen Alarme nicht.

Weiterhin zeigte sich ein signifikanter main-effect der Motivation (C) in der Weise, daß bei Risiko-Motivation die falschen Alarme häufiger als bei Vorsichts-Motivation auftreten.

In Tabelle 5 sind die Mittelwertsdifferenzen zwischen den unter Risiko und Vorsicht ermittelten Wahrscheinlichkeiten von falschen Alarmen und richtigen Signalentdeckungen einander gegenübergestellt: aus diesem Vergleich ergibt sich, daß unter Risiko-Motivation 12% mehr richtige Signalentdeckungen als unter Vorsicht, aber nur 0,026% mehr falsche Alarme gegeben werden. Diese Verhältnisse bestätigen die Risikohypothese der falschen Alarme.

Schließlich verglichen wir für die einflächige Vigilanzaufgabe die mittlere Antwortlatenz der falschen Alarme mit der mittleren Antwortzeit von Signalentdeckungen auf Grund des t-Tests für abhängige Stichproben (Mittenecker, 1964, 117). Dabei erwiesen sich die Antwortzeiten der Typ-I-Fehler als signifikant länger ($t = 2{,}273$; $p < 0{,}05$; $N = 15$).

Tabelle 5. *Mittelwertsdifferenzen zwischen den unter Risiko (C1) und Vorsicht (C2) ermittelten Wahrscheinlichkeiten von richtigen Signalentdeckungen (P(A|SN) und falschen Alarmen (P(A|N)*

	C1	C2	C1—C2
$P(A\|SN)$	0,85	0,73	0,12
$P(A\|N)$	0,00077	0,00051	0,00026

III. Diskussion

Falsche Alarme spielen unseren Ergebnissen zufolge in Vigilanzaufgaben eine Doppelrolle: einmal sind die Typ-I-Fehler Ausdruck einer schlechten Vigilanzleistung, wie aus der erhöhten Anzahl von falschen Alarmen und verpaßten Signalen bei der Beobachtung von drei Signalquellen im Vergleich zur Überwachung einer einzigen Fläche hervorgeht. Zum anderen ist eine hohe Rate von falschen Alarmen in ihrer Abhängigkeit von Motivationsvariablen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit richtiger Signalentdeckungen verbunden. Diese beiden Aspekte der Typ-I-Fehler können wir durch Annahmen des detection-Modells erklären, die in der Unsicherheitshypothese und der Risikohypothese formuliert wurden.

Die Abhängigkeit der entdeckten Signale von der Anzahl der Signalquellen wurde im vorhergehenden Kapitel nachgewiesen, was Ergebnisse aus Untersuchungen von Jerison (1957, 1959) bestätigt, in denen allerdings nicht die Wirkungen der Signalrate von denen der Anzahl der Signalquellen getrennt wurden. Bei mehrflächiger Darbietungsweise ist Jerisons und unseren Befunden zufolge die Wahrscheinlichkeit von Fehlern des Typ I und des Typ II höher als bei einflächiger.

Wie ist die Unsicherheitshypothese, d.h. der Einfluß der Signalunsicherheit auf die Wahrscheinlichkeit von richtigen Signalentdeckungen und die Rate der falschen Alarme im detection-Modell darzustellen? Wenn wir annehmen, daß bei statistischen Signalinformationen kein eindeutiges Kriterium für die Unterscheidung von Signalen und Nicht-Signalen zu etablieren ist, können wir die Beziehung zwischen Signalunsicherheit und Entdeckungsleistung durch die Varianz des Kriteriums erfassen. Tanner (1964) behandelt die Varianz des Kriteriums für das, was ein Signal ist und was nicht, als einen jener Gedächtnisfaktoren, die das System des menschlichen Beobachters mit zusätzlicher Unsicherheit belasten. Diese Betrachtungsweise scheint nicht nur geeignet, die Abweichung der Entdeckungsleistungen vom Modellfall des idealen Beobachters zu erklären, sondern auch allgemein die Unsicherheitskomponenten ungeachtet ihrer Herkunft im detection-Modell abzubilden.

Wir gehen davon aus, daß mit der Vergrößerung der Signalunsicherheit die Kriteriumsvarianz zunimmt. Die Folgen, die sich aus einer

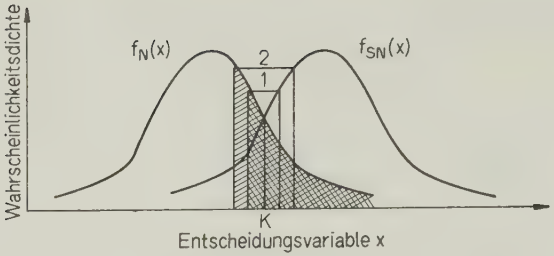

Abb. 4. Der Variabilitätsbereich des Entscheidungskriteriums

unterschiedlichen Festigkeit des Entscheidungskriteriums für die Wahrscheinlichkeiten von falschen Alarmen und richtigen Signalentdeckungen ergeben, sollen mit Abb. 4 erläutert werden. Dabei wird die x-Achse durch die Entscheidungsvariable und die y-Achse durch deren Wahrscheinlichkeitsdichte gebildet.

Die Ordinate in K symbolisiert eine optimale Entscheidungsmaxime. Die untere Streckenmarkierung (*1*) stellt einen geringen Variabilitätsbereich des Kriteriums bei geringer Signalunsicherheit dar. Dagegen soll durch die obere Streckenmarkierung (*2*) ein großer Variabilitätsbereich angezeigt werden, wie er bei erhöhter Signalunsicherheit vorhanden sein könnte. Daß bei einem stark variierenden Kriterium eine schlechte Vigilanzleistung in Form einer hohen Falschen-Alarm-Rate und einer geringen Entdeckungswahrscheinlichkeit zu erwarten ist, kann durch einen Vergleich der relevanten Integrale gezeigt werden.

Nehmen wir als Beispiel zunächst die schraffierten Integrale unter der N-Verteilung: das links-schraffierte Integral, das durch den Kurvenzug der N-Verteilung, die Ordinate der unteren Grenze eines wenig variierenden Kriteriums (*1*) und die x-Achse gebildet wird, ist kleiner als das rechts-schraffierte Integral des breiteren Variabilitätsbereichs (*2*). Das heißt für ein stark variierendes Kriterium wird sich eine höhere Rate der falschen Alarme ergeben als für ein wenig variierendes.

Aus dem Vergleich der den beiden Variabilitätsbereichen entsprechenden Integrale unter der SN-Verteilung resultiert für den größeren Variabilitätsbereich (*2*) eine geringe Entdeckungswahrscheinlichkeit, weil besonders hohe — rechts lokalisierte — Kriteriumswerte nur die Entdeckung der ganz sicheren Signale zulassen. Für den kleinen Variabilitätsbereich (*1*) des Entscheidungskriteriums dagegen ergibt sich eine wesentlich höhere Wahrscheinlichkeit richtiger Signalentdeckungen.

Die durch die Signalunsicherheit bestimmte Varianz des Entscheidungskriteriums vermag die große Anzahl der Fehler des Typ I und Typ II bei mehrflächiger Darbietungsweise zu erklären. Aus unserer

Anordnung ist kein Indikator für die theoretische Konstruktion „Stabilität des Entscheidungskriteriums" zu gewinnen. Es scheint aber grundsätzlich möglich, in Form von Ratings über die Beschaffenheit des bei den Signalregistrierungen verwendeten Entscheidungskriteriums Auskunft zu geben. So zeigen Broadbent und Gregory (1963), daß sowohl in einer ausditiven als auch in einer visuellen Vigilanzaufgabe die Zuweisung von Sicherheitsgraden zu den Signalregistrierungen nicht zufällig erfolgt: der Quotient aus richtigen Signalentdeckungen und falschen Alarmen steigt mit zunehmendem Sicherheitsgrad an.

Falsche Alarme sind nicht nur als Ausdruck einer schlechten Vigilanzleistung zu verstehen. Unter motivationalem Aspekt kann den Typ-I-Fehlern die strategische Funktion zugesprochen werden, die in der Risikohypothese erläutert wurde. Die Vp scheint, wie es auf Grund dieser Hypothese vorhergesagt und durch unsere Ergebnisse bestätigt wurde, unter geeigneten experimentellen Bedingungen die Rate ihrer falschen Alarme in geringem Maße zu erhöhen und damit einen bedeutend höheren Zuwachs an richtigen Signalentdeckungen zu gewinnen.

Aus dem Vergleich der Antwortzeiten von falschen Alarmen und richtig entdeckten Signalen geht hervor, daß die Typ-I-Fehler besonders lange Antwortzeiten aufweisen. Durch eine Verlängerung der Antwortzeit sind ebenfalls jene Signalentdeckungen gekennzeichnet, die unter Risiko-Motivation die überlegene Entdeckungsleistung zustandebringen. Die ähnlichen zeitlichen Charakteristika von falschen Alarmen und verspäteten Signalentdeckungen deuten daraufhin, daß wir es in beiden Fällen mit besonders unsicheren Formen des Reagierens zu tun haben. Beide Antwortkategorien können in dem Bereich zwischen entdeckten und nichtentdeckten Signalen lokalisiert werden, in dem mehrere Reaktionstendenzen vorhanden sind. Die Lage des Kriteriums für die Unterscheidung zwischen Signalen und Nicht-Signalen bestimmt, welcher Hypothese — „ja, es ist ein Signal vorhanden" (A) oder „nein, es ist kein Signal vorhanden" (B) — diese Übergangsantworten unterzuordnen sind.

Bei Risiko-Motivation ist der detection-Therorie zufolge ein niedriger Kriteriumswert vorhanden, der die unsicheren Antworten der Hypothese A zurechnet. Wenn dagegen die Vp zur Vorsicht gegenüber falschen Alarmen instruiert wird, ist ein wesentlich höherer Kriteriumswert anzusetzen, so daß die unsicheren Reaktionen insgesamt unterdrückt werden. Wie aus unseren Ergebnissen hervorgeht, werden unter Risiko-Motivation mehr falsche Alarme und mehr verspätete richtige Signalentdeckungen gegeben als unter Vorsichts-Motivation. Dabei weisen die durch die Motivationsvariable betroffenen falschen Alarme und verspäteten Signalentdeckungen jenes zahlenmäßige Verhältnis auf, das nach der Risikohypothese zu erwarten war: bei Risiko-Motivation ist die

Rate der Typ-I-Fehler im Vergleich zur Vorsichts-Motivation nur geringfügig erhöht, die Wahrscheinlichkeit der verspäteten richtigen Signalentdeckungen, die die überlegene Beobachtungsleistung unter Risiko-Motivation ausmachen, dagegen in wesentlich stärkerem Maße.

E. Die Veränderung der Entdeckungsleistung

Die Verminderung der Vigilanzleistung in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer ist eines der Hauptprobleme der Vigilanzforschung. Die am häufigsten gegebene Erklärung des Vigilanzabfalls ist die arousal-Theorie, die die Abnahme der Vigilanzleistung als Ausdruck eines infolge der Umgebungsmonotonie verminderten corticalen Erregungsniveaus versteht.

Der Befund Bankans (1955), daß ein Signal am Ende einer Vigilanzaufgabe um 25% heller sein muß als zu Beginn der Beobachtungssitzung, um entdeckt zu werden, steht in Übereinstimmung mit der Theorie einer durch die Vigilanzbedingungen verminderten Aktivierung. In der gleichen Untersuchung wurde aber ein gleichzeitiges Abnehmen der falschen Alarme ermittelt, was mit einer verminderten Rezeptorempfindlichkeit nicht zu vereinbaren ist. Weiterhin ergab sich in einer Reihe von Vigilanzuntersuchungen (Broadbent, 1950; Howland, 1956; Jerison und Wallis, 1957) kein Abfall der Entdeckungsleistung. Howland (1956) fand in einer 4stündigen Aufgabe, eine von der Beobachtungsdauer abhängige Zunahme von richtigen Signalentdeckungen bei gleichzeitigem Anstieg der falschen Alarme. Wir wollen versuchen, mit Hilfe der Risikohypothese eine Erklärung des Vigilanzabfalls zu entwickeln, die diese der Aktivationstheorie widersprechenden Befunde zu erklären vermag.

I. Hypothesen

Die Abhängigkeit des Vigilanzabfalls von Motivationsbedingungen wurde wiederholt nachgewiesen (Bergum und Lehr, 1962, 1963; Fraser, 1953; Seidenstein, zit. Buckner und McGrath, 1963, 181). Wir nehmen an, daß die Sensibilität der Vigilanzleistung gegenüber motivationalen Variablen auf eine Affizierung der mit einer Entscheidung verbundenen Kosten und Gewinne zurückzuführen ist. Im Rahmen des detection-Modells bedeutet eine Veränderung der positiven und negativen Werte der Entscheidungsmöglichkeiten eine Verschiebung des Kriteriums für die Unterscheidung von Signalen und Nicht-Signalen. Eine solche Verschiebung des Kriteriumswertes betrifft im wesentlichen die Wahrscheinlichkeit von richtigen Signalentdeckungen, während die Falsche-Alarm-Rate nur in geringfügigem Maße beeinflußt wird. Dabei ist die Veränderungsrichtung der Entdeckungswahrscheinlichkeit, d.h. die

Frage, ob eine Abnahme oder Zunahme der Vigilanzleistung eintritt, von der Veränderungsrichtung des Entscheidungskriteriums abhängig. Wenn sich der Kriteriumswert zu größerer Vorsicht bewegt, haben wir es mit einem Abfall der Entdeckungsleistung zu tun. Verschiebt sich dagegen das Entscheidungskriterium in Richtung verstärkter Risikobereitschaft, ist eine Erhöhung der Rate entdeckter Signale vorhanden.

Wir nehmen weiterhin an, daß die von der Vp bei einer Signalentdeckung angewendete Sorgfalt, die zu Beginn der Aufgabe durch den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe selbst oder durch zusätzlich eingeführte Motivationsvariable vermittelt wird, sich im Verlauf der Untersuchung verändert. Dabei sollte sowohl eine anfängliche Risikobereitschaft als auch eine besondere Vorsicht im Fortgang der Aufgabe nachlassen.

Der Vigilanzabfall ist dieser Auffassung zufolge durch eine sich vermindernde Risikobereitschaft zu erklären. In bestimmten Vigilanzaufgaben könnte zu Beginn der Beobachtungssitzung durch die Einfachheit der Aufgabe selbst oder durch Motivationsvariable eine relativ starke Bereitschaft hervorgerufen werden, eine Ja-Entscheidung zu treffen. Diese Risikobereitschaft läßt unserer Annahme zufolge im Verlauf der Aufgabe nach, was eine unmerkliche Reduktion der falschen Alarme, aber eine starke Verminderung der richtigen Signalentdeckungen bedeutet.

In unseren Untersuchungen wurden in einer ein- und einer mehrflächigen Vigilanzaufgabe durch Variation der Utilitäten der Entscheidungsmöglichkeiten zwei Motivationsbedingungen erzielt, die unter zeitlichem Aspekt in ihrer Wirkung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit betrachtet werden sollen. Dabei stellen wir zusammenfassend folgende Hypothesen auf:

1. Wir erwarten, daß bei Risiko-Motivation ein Abfall der Entdekkungswahrscheinlichkeit zu Beginn der Vigilanzaufgabe eintritt.

2. Dagegen sollte bei Vpn, die die Vigilanzaufgabe unter Vorsichts-Motivation durchführten, sich die Entdeckungswahrscheinlichkeit nicht zu Beginn der Aufgabe vermindern, sondern eher ansteigen, bzw. sich nicht verändern.

II. Ergebnisse

Da sich in den vorangehenden Varianzanalysen gezeigt hat, daß die Dimension „Anzahl der irrelevanten Reize" (B) nicht differenziert, was mit unseren Hypothesen übereinstimmte, wurde diese Variable in der varianzanalytischen Prüfung des Verlaufs der Entdeckungswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt. Die verwendeten $2 \times 2 \times 4$-Varianzanalysen für abhängige Daten stützen sich auf Winer (1962, 337ff.).

In unserer Anordnung beeinflußt die Anzahl der Signalquellen die Veränderung der Entdeckungsleistung nicht ($A \times D : p > 0{,}05$), wie aus Tabelle 6 hervorgeht.

Tabelle 6. *Varianzanalyse der Entdeckungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer*

Varianzquelle	*df*	Quadrat-summe	Mittlere Quadrat-summe	*F*	*p*
Zwischen	79	16,279			
A (Flächen)	1	5,949	5,949	49,367	$< 0{,}01$
C (Motivation)	1	1,160	1,160	9,630	$< 0{,}01$
$A \times C$	1	0,011	0,011	0,095	
Vpn innerhalb der Gruppen	76	9,159	0,121		
Innerhalb	240	2,863			
D (Zeit)	3	0,027	0,009	0,822	
$A \times D$	3	0,041	0,014	1,266	
$C \times D$	3	0,286	0,095	8,739	$< 0{,}01$
$A \times C \times D$	3	0,023	0,008	0,697	
$D \times$ Vpn innerhalb der Gruppen	228	2,487	0,011		

Die signifikante Interaktion „Motivation mal Zeit" ($C \times D$) besagt, daß die Veränderung der Rate der Signalentdeckungen von der Art der Motivation abhängig ist. Die Trends der Entdeckungswahrscheinlichkeiten bei Risiko- und Vorsichts-Motivation sind einander entgegengesetzt; d.h. sie heben sich auf, was durch den nicht signifikanten zeitlichen main-effect (Innerh. $D : p > 0{,}05$) angezeigt wird.

Aus Tabelle 7 ist ersichtlich, daß die Aufgabenzeit (D) sich nicht signifikant auf die Wahrscheinlichkeit von falschen Alarmen auswirkt. Der Verlauf der Falschen-Alarm-Rate wird auch nicht durch die Anzahl der Darbietungsflächen ($A \times D : p > 0{,}05$) oder die Art der Motivation ($C \times D : p > 0{,}05$) beeinflußt.

III. Diskussion

In unserer Untersuchung ergab sich in Übereinstimmung mit der im Rahmen der detection-Theorie formulierten Risikohypothese eine Veränderung der Entdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Motivationsart. Bei Risiko-Motivation fällt die Rate der entdeckten Signale von der ersten zur zweiten Beobachtungsperiode ab, wohingegen sich unter Vorsichts-Motivation ein Anstieg zeigt. Die Wahrscheinlichkeit der falschen Alarme dagegen verändert sich — vermutlich infolge der starken inter-individuellen Unterschiede, über die in anderem Zusammenhang berichtet wird — nicht signifikant.

Tabelle 7. *Varianzanalyse der Falschen-Alarm-Rate in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer*

Varianzquelle	*df*	Quadrat-summe	Mittlere Quadrat-summe	*F*	*p*
Zwischen	79	168399			
A (Flächen)	1	15680	15680	9,349	$<0{,}01$
C (Motivation)	1	12903	12903	7,693	$<0{,}01$
$A \times C$	1	12351	12351	7,364	$<0{,}01$
Vpn innerhalb der Gruppen	76	127465	1677		
Innerhalb	240	121275			
D (Zeit)	3	3266	1089	2,231	
$A \times D$	3	2926	975	1,999	
$C \times D$	3	1891	630	1,292	
$A \times C \times D$	3	1954	651	1,335	
$D \times$ Vpn innerhalb der Gruppen	228	111238	488		

Wenn auch die in der Risikohypothese postulierten geringfügigen Veränderungen der Falschen-Alarm-Rate in unserer Untersuchung statistisch nicht zu sichern sind, so wollen wir doch angesichts der Ergebnisse von Bakan (1955) die Interpretation der Vigilanzleistung als einer Verschiebung des Kriteriums für die Unterscheidung von Signalen und Nicht-Signalen beibehalten. Der Hauptgrund für die ausführliche Diskussion der Risikohypothese der Vigilanzminderung ist in dem heuristischen Wert dieses Ansatzes zu sehen: andere Deutungsversuche des Vigilanzverhaltens wie beispielsweise die arousal-Theorie vernachlässigen in ihrem Bemühen, den Abfall der Vigilanzleistung in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer zu erklären, jene Arbeiten, in denen die Vpn die Entdeckungswahrscheinlichkeit auf dem anfänglichen Niveau halten konnten bzw. im Laufe der Aufgabe einen Anstieg der Signalentdeckungen erkennen ließen, wie es auch in unserer Untersuchung unter Vorsichts-Motivation der Fall ist. Möglicherweise kann gerade durch die Berücksichtigung dieser „Ausnahmen" ein gründlicheres Verständnis des Vigilanzabfalls gewonnen werden.

Wir nehmen an, daß die Veränderung der Vigilanzleistung in Abhängigkeit von der Zeit Ausdruck einer Verschiebung des Kriteriums für die Unterscheidung von Signalen und Nicht-Signalen ist. Dabei wird im Verlauf einer Vigilanzaufgabe, in der die Vp anfänglich die Stimulus-Ereignisse nach einem Risikokriterium in Signale und Nicht-Signale kategorisiert, die Risikoneigung allmählich abnehmen, was mit einer geringfügigen Reduktion der Falschen-Alarm-Rate und einer starken Abnahme der Wahrscheinlichkeit richtiger Signalentdeckungen

verbunden ist. Wenn andererseits die Vp eine Vigilanzaufgabe mit besonderer Vorsicht falschen Alarmen gegenüber beginnt, ist anzunehmen, daß sich auch diese Einstellung im Fortgang der Aufgabe verändert, und zwar nicht mit dem Resultat einer verminderten, sondern eher einer erhöhten Entdeckungswahrscheinlichkeit. Ein Nachlassen der anfänglichen Vorsichtshaltung bedeutet eine Verschiebung des Kriteriums zu vergrößertem Risiko von falschen Alarmen bei Anstieg der richtigen Signalentdeckungen.

Es stellt sich die Frage, welche Variablen auf das anfängliche Sorgfaltsniveau Einfluß nehmen. Zunächst ist festzuhalten, daß eine direkte Manipulation der Ausgangsutilitäten durch die Instruktion vorgenommen werden kann, wie aus unseren Ergebnissen hervorgeht. Bei geringen Kosten für die Abgabe eines falschen Alarms und einem hohen Gewinn bei richtigen Signalentdeckungen ist zu Beginn der Aufgabe eine besonders hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit vorhanden, wohingegen sich bei hohen Kosten für Typ-I-Fehler und geringen Gewinnen bei richtigen Signalentdeckungen anfänglich eine sehr niedrige Entdeckungswahrscheinlichkeit ergibt.

Nicht nur die direkt in der Instruktion vermittelte Einstellung gegenüber falschen Alarmen beeinflußt die zu Beginn der Aufgabe gewählte Bereitschaft zu Risiko und Vorsicht. Ein weiteres deskriptives Merkmal, das Hinweise auf das anfängliche Sorgfaltsniveau geben könnte, ist der Schwierigkeitsgrad der Beobachtungsaufgabe selbst. Die Schwierigkeit der Aufgabe bestimmt die Möglichkeit des Aufbaus konkurrierender irrelevanter Reaktionstendenzen. In einfachen Vigilanzaufgaben ist die Wahrscheinlichkeit dieser konkurrierenden Reaktionstendenzen, die das Auftreten von falschen Alarmen bestimmen, zu Gunsten der dominierenden richtigen Signalreaktionen reduziert. In schwierigen Aufgaben dagegen sind zu Beginn der Aufgabe nicht nur richtige, sondern auch falsche Reaktionstendenzen vorhanden. Es scheint in komplexen Vigilanzanordnungen psychologisch verständlich, wenn die Vp auf Grund der im Vergleich zu einfachen Aufgaben vergrößerten Anzahl irrelevanter Response-Tendenzen besonders zu Beginn der Aufgabe falsche Alarme zu vermeiden sucht, d.h. eine sehr vorsichtige Einstellung annimmt.

Broadbent (1950) wie auch Jerison u. Mitarb. (Jerison, 1959; Jerison und Wallis, 1957) fanden in mehrflächigen Vigilanzaufgaben ein anfänglich geringes Entdeckungsniveau, das sich im Verlauf der Aufgabe nicht verändert. Auch bei Baker (1959) ergab sich in einer Vigilanzaufgabe mit großer örtlicher Signalunsicherheit eine relativ niedrige, nicht mit der Beobachtungsdauer abnehmende Entdeckungswahrscheinlichkeit. Es besteht die Möglichkeit, daß in diesen Aufgaben durch die Vielzahl der Orte, an denen ein Signal auftauchen kann, mehrere verschiedene Reaktionstendenzen aufgebaut werden, die die Vp zu Beginn der Aufgabe

durch die Wahl eines Vorsichtskriteriums zu kontrollieren imstande ist, die aber im Fortgang der Aufgabe mit den richtigen Signalreaktionen in immer stärker werdende Konkurrenz treten. Dieser Prozeß kann als die allmähliche Entstehung eines Risikoverhaltens beschrieben werden, das einerseits den Abfall der Entdeckungswahrscheinlichkeit verhindert, andererseits aber eine geringfügige Erhöhung der Falschen-Alarm-Rate beinhaltet.

In einfachen Vigilanzaufgaben dagegen, in denen irrelevante Response-Tendenzen in geringerem Maße Dominanz gewinnen können, besteht die anfängliche Furcht vor falschen Alarmen nicht. Die eindeutige Überlegenheit von richtigen Signalreaktionen im Vergleich zu anderen Reaktionstendenzen könnte die Vp zu Beginn der Aufgabe dazu veranlassen, ein weniger vorsichtiges Entscheidungskriterium zu verwenden, als es anfänglich bei mehrflächiger Darbietungsweise der Fall ist. Mit der Beobachtungsdauer vollzieht sich jedoch im einflächigen Vigilanzversuch eine kontinuierliche Ausschaltung der konkurrierenden Reaktionstendenzen, da die sicheren Signalreaktionstendenzen auf Grund ihrer dominanten Stellung in der Habit-Hierarchie mehr an Stärke gewinnen als die relativ schwachen, unsicheren bzw. falschen Reaktionstendenzen. Diese Verfestigung der sicheren Signalreaktionen kann im Rahmen der detection-Theorie als eine Verschiebung des Entscheidungskriteriums zu größerer Vorsicht aufgefaßt werden, wobei die unmerkliche Reduktion der falschen Alarme mit einer gleichzeitigen starken Verminderung an richtigen Signalentdeckungen verbunden ist.

Wie Broadbent und Gregory (1963) nachweisen, wird durch die Darbietung von Lärm in einer Vigilanzaufgabe ein riskierendes Verhalten beeinträchtigt, nicht aber ein vorsichtiges: jene Signalentdeckungen, denen die Vp einen geringen Sicherheitsgrad zuweist, sind unter Lärm reduziert. Wenn wir annehmen, daß durch die Darbietung von Lärm der Aufbau irrelevanter Response-Tendenzen begünstigt wird, können wir die wiederholt erwähnten Befunde von Broadbent (1951, 1954) und Jerison (1957, 1959) zur Vigilanzleistung unter Lärm im Zusammenhang mit der Risikohypothese erklären: möglicherweise ist bei einflächiger Darbietungsweise unter Lärm deshalb kein Abfall der Vigilanzleistung vorhanden, weil der in der Ruhebedingung vorhandene Verfestigungsprozeß der richtigen Signalreaktionen durch die unter Lärm sich allmählich aufbauenden irrelevanten Reaktionen verhindert wird. Das würde bedeuten, daß sich bei einflächiger Darbietungsweise unter Lärmbedingungen das Entscheidungskriterium nicht zu übergroßer Vorsicht verschiebt.

Bei mehrflächiger Darbietungsweise dagegen fiel unter Lärm die Entdeckungsleistung bei Broadbent (1951, 1954) sowie bei Jerison u. Mitarb. (Jerison, 1959; Jerison und Wing, 1957) ab, wobei die Be-

einträchtigungen durch Lärm gegen Ende der Aufgabe am größten waren. Die langsam abnehmende Furcht vor falschen Alarmen unter Ruhebedingungen wurde als Entwicklung einer Risikostrategie aufgefaßt. Wenn nun durch die Lärmdarbietung zusätzliche irrelevante Response-Tendenzen entstehen, die mit der Beobachtungsdauer stärker werden, könnte diese Strategie zusammenbrechen, was den Abfall der Entdeckungswahrscheinlichkeit und die zeitliche Verteilung der unter Lärm verpaßten Signale erklären würde.

Literatur

Bakan, P.: Discrimination decrement as a function of time in a prolonged vigil. J. exp. Psychol. **50**, 387—390 (1955).

Baker, C. H.: Attention to visual displays during a vigilance task. I: Biasing attention. Brit. J. Psychol. **49**, 279—288 (1958).

— Toward a theory of vigilance. Canad. J. Psychol. **13**, 35—42 (1959).

— Further toward a theory of vigilance. In: Buckner, D. H., and McGrath, J. J. (eds.), p. 127—154. New York: McGraw-Hill 1963.

Bergum, B. O., Lehr, D. J.: Vigilance performance as a function of interpolated rest. J. appl. Psychol. **46**, 425—427 (1962).

— Effects of authoritarianism on vigilance performance. J. appl. Psychol. **47**, 75—77 (1963).

Broadbent, D. E.: The twenty-dials test under quiet conditions. Applied Psychological Research Unit, Report No. 130 (1950).

— The twenty-dials and twenty-lights tests under noise conditions. Applied Psychological Research Unit, Report No. 160 (1951).

— Some effects of noise on visual performance. Quart. J. exp. Psychol. **6**, 1—5 (1954).

— Perception and communication. London: Pergamon Press 1958.

— Gregory, M.: Vigilance considered as a statistical decision. Brit. J. Psychol. **54**, 309—323 (1963).

Buckner, D. N., McGrath, J. J. (eds.): Vigilance — a symposium. New York: McGraw-Hill 1963.

Deese, J.: Some problems in the theory of vigilance. Psychol. Rev. **62**, 359—368 (1955).

Egan, J. P., Greenberg, G. Z., Schulman, A. I.: Interval of time uncertainty in auditory detection. J. acoust. Soc. Amer. **33**, 771—778 (1961a).

— Schulman, A. I., Greenberg, G. Z.: Operating characteristics determinded by binary decisions and by ratings. J. acoust. Soc. Amer. **31**, 768—773 (1959).

— Memory for waveform and time uncertainty in auditory detection. J. acoust. Soc. Amer. **33**, 779—781 (1961b).

— Operating characteristics, signal detectability, and the method of free response. J. acoust. Soc. Amer. **33**, 993—1007 (1961c).

Frankman, Y. P., Adams, J. A.: Theories of vigilance. Psychol. Bull. **59**, 257—272 (1962).

Fraser, D. C.: The relation of an environmental variable to performance in a prolonged visual task. Quart. J. exp. Psychol. **5**, 31—32 (1953).

Gardner, R. W., Long, R. I.: Errors of the standard and illusion effects with inverted-T. Percept. Mot. Skills **10**, 47—54 (1960a).

— Errors of the standard and illusion effects with L-shaped figures. Percept. Mot. Skills **10**, 107—109 (1960b).

Graumann, C. F.: Social perception (Sammelreferat). Z. exp. angew. Psychol. **3**, 605—661 (1955/56).
Hick, W. E.: On the rate of gain of information. Quart. J. exp. Psychol. **4**, 11—26 (1952).
Howland, D.: The human as a monitor in a man-machine system. News in Engineering 23—29 (1956).
Jerison, H. J.: Performance on a simple vigilance task in noise and quiet. J. acoust. Soc. Amer. **29**, 1163—1165 (1957).
— Effects of noise on human performance. J. appl. Psychol. **43**, 96—101 (1959).
— On the decrement function in human vigilance. In: Buckner, D. N., and McGrath, J. J. (eds.), p. 199—212. New York: McGraw-Hill 1963.
— Wallis, R. A.: Experiments on vigilance. II. One-clock and three-clock monitoring. USAF WADC, Technical Report, No TR-57-206 (1957).
— Wing, S.: Effects of noise and fatigue on a complex vigilance task. USAF WADC, Technical Report, No 57-14 (1957).
Jung, C. G.: Psychoanalyse und Assoziationsexperiment. In: Jung, C. G. (Hrsg.), Diagnostische Assoziationsstudien, Bd. 1, S. 258—281. Leibzig: Barth 1906.
Loeb, M., Jeantheau, G.: The influence of noxious environmental stimuli on vigilance. J. appl. Psychol. **42**, 47—49 (1958).
Mackworth, N. H.: Researches on the measurement of human performance. Med. Res. Council Spec. Rep. Ser. No 268 (1950).
McCormack, P. D.: Performance in a vigilance task with and without knowledge of results. Canad. J. Psychol. **13**, 68—71 (1959).
— A two-factor theory of vigilance. Brit. J. Psychol. **53**, 357—363 (1962).
McGrath, J. J.: Irrelevant stimulation and vigilance performance. In: Buckner, D. N., and McGrath, J.J. (eds.), p. 3—19. New York: McGraw-Hill 1963.
Mittenecker, E.: Planung und statistische Auswertung von Experimenten, 5. Aufl., Wien: Deuticke 1964.
Moruzzi, G., Magoun, H. W.: Brain stem reticular formation and activation of the EEG. EEG clin. Neurophysiol. **1**, 455—473 (1949).
Piaget, J.: Psychologie der Intelligenz, 2. Aufl. Zürich: Rascher 1966.
— Vinh-Bang, Matalon, B.: Note on the temporal maximum of some optico-geometric illusions. Amer. J. Psychol. **71**, 277—282 (1958).
Sipowicz, R. R., Ware, J. R., Baker, R. A.: The effects of reward and knowledge of results in the performance of a simple vigilance task. J. exp. Psychol. **64**, 58—61 (1962).
Swets, J. A.: Is there a sensory threshold? Science **134**, 168—177 (1961).
— (Ed.): Signal detection and recognition by human observers. New York: Wiley 1964.
— Tanner, W. P. Jr., Birdsall, T. G.: Decision processes in perception. Psychol. Rev. **68**, 301—340 (1961).
Tanner, W. P., Jr.: Physiological implications of psychological data. In: Swets, J. A. (ed.), p. 351—365. New York: Wiley 1964.
— Jones, R. C.: The ideal sensor system as approached through statistical decision system and theory of signal detectability. Proceedings of the Armed Forces NRC Vision Committee Meeting, Washington, D.C. 1959.
— Swets, J. A.: A decision making theory of visual detection. Psychol. Rev. **61**, 401—409 (1954).
Winer, B. J.: Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill 1962.

Dr. Gisela Müller
1 Berlin 31
Nassauische Straße 54/5